Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2009

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Claudia Bernhard-Ströl
Claudia Hachenberger
Angela Trugenberger-Schnabel
Dr. Josef Peter

Stand: Dezember 2010

Vorwort

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht. Diese Berichte enthalten neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen. Er enthält Daten über die Strahlenexposition aus Quellen natürlicher und zivilisatorisch veränderter natürlicher Radioaktivität:

- Kernwaffenversuche,
- die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl,
- kerntechnische Anlagen,
- berufliche Tätigkeit,
- medizinische Anwendung,
- Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik,
- radioaktive Abfälle,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse.

Der vorliegende Jahresbericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung die wichtigsten aktuellen Daten für das Jahr 2009. Im Bericht enthalten sind außerdem Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIS) und Forschungsprojekte in diesem Bereich.

Der Bericht ist in die Teile A und B gegliedert. Teil A jedoch enthält allgemeine Angaben und eine Einführung in die jeweilige Thematik, während in Teil B (graues Register) zum gleichen Thema die jährlich erhobenen Daten im Vergleich mit dem Vorjahreswert wiedergegeben und bewertet sind. Struktur und Themen sind in beiden Teilen gleich.

INHALTSVERZEICHNIS

TEIL B
AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG
(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT
(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht. Diese Berichte enthalten neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen. Im Folgenden werden Aussagen gemacht über die Strahlenexposition durch

- Quellen für natürliche und für zivilisatorisch veränderte natürliche Radioaktivität,
- Kernwaffenversuche,
- die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl,
- kerntechnische Anlagen,
- berufliche Tätigkeit,
- medizinische Anwendung,
- Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik,
- radioaktive Abfälle,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse.

Seit 2001 enthält der Bericht außerdem Informationen über nichtionisierende Strahlung und Forschungsarbeiten in diesem Bereich.

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2009 ist in der folgenden Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis beträgt etwa 3,9 mSv und ist damit im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2009

		Mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr	
1.	Natürliche Strahlenexposition		
1.1	durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)	ca. 0,3	
1.2	durch terrestrische Strahlung von außen	ca. 0,4	
	bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,1
	bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)		ca. 0,3
1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten	ca. 1,1	
	bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,2
	bei Aufenthalt im Gebäude (19 Std./Tag)		ca. 0,9
1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition		**ca. 2,1**	
2.	Zivilisatorische Strahlenexposition		
2.1	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01	
2.2	Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	< 0,012	
2.3	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01	
2.4	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin* (ohne Therapie)	ca. 1,8	
	davon durch nuklearmedizinische Untersuchungen		ca. 0,1
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		**ca. 1,8**	

* Daten von 2008, Auswertungen von 2010

Natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürliche radioaktive Stoffe in der Umwelt, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Strahlung des natürlichen Radionuklids K-40 sowie der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des U-238 und des Th-232 aus dem Boden und den Gebäuden bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation des natürlichen Edelgases Radon und dessen Zerfallsprodukte verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung einschließlich des Trinkwassers. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein mittlerer nomineller Wert von 2,1 Millisievert pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgeblich ist. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen im jährlichen Vergleich sind gering. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH im ehemaligen Uranerzbergbaugebiet in Sachsen und Thüringen fallen über Luft und Wässer Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe an, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden in die Umwelt abgeleitet werden. Eine bergbaubedingt erhöhte Radonkonzentration in der bodennahen Luft tritt nur in der unmittelbaren Nähe bergbaulicher Anlagen auf und nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab. Insgesamt ergibt sich aus den vorliegenden Messergebnissen, dass in den o. g. Uranbergbaugebieten überdurchschnittlich hohe Radonkonzentrationen auftreten, die aber auch in geologisch vergleichbaren Gebieten beobachtet werden und deshalb offensichtlich natürlichen Ursprungs sind. Die Ableitung von Uran, Radium und deren Zerfallsprodukten aus bergbaulichen Anlagen in die Vorfluter der Bergbaugebiete ergibt keine oder nur geringfügige Veränderungen des natürlichen Niveaus dieser Radionuklide in den Vorflutern. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe (Rn-222 und langlebige Alpha-Strahler, Uran und Ra-226) mit Fortluft und Abwasser der untertägigen Grubenfelder im Bereich der Wismut-Sanierungsbetriebe unterliegen je nach Sanierungs- und Witterungsverlauf Schwankungen, weisen jedoch insgesamt eine abnehmende Tendenz auf.

Radon in Gebäuden

Der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Radon in Aufenthaltsräumen beträgt in Deutschland ca. 50 Bq/m^3; dies entspricht einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben beträchtliche regionale Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlicher radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt und in geringem Maße die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt radioaktiver Stoffe bewirken eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten. Im Berichtsjahr wurden Untersuchungen zum Einfluss von Bergbau und bergbaulichen Hinterlassenschaften auf die Radonkonzentration in Häusern im Westerzgebirge und in einem Steinkohlerevier in Nordrhein-Westfalen fortgesetzt. In den letzten Jahren wurden nationale und internationale epidemiologische Studien durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung durch erhöhte Radon-Zerfallsprodukt-Expositionen genauer abschätzen zu können. Dabei zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% pro 100 Bq/m^3.

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Aktuelle Untersuchungen der Konzentrationen der natürlichen Radionuklide Ra-226, Th-232 sowie K-40 in üblichen industriell gefertigten Baumaterialien für den Innenraumbereich bestätigten, dass die durch sie verursachte Dosis im Mittel bei etwa 0,3 mSv pro Jahr liegt und in Einzelfällen bis 1 mSv pro Jahr reichen kann. Damit wird der europaweit anerkannte Maßstab zur Begrenzung der Strahlenexposition aus Baustoffen eingehalten. Es wurde auch die Abgabe von Rn-222 aus mineralischen Baumaterialien berücksichtigt, doch diese erwies sich generell als gering. Auch bei im häuslichen Bereich verwendeten Naturwerksteinmaterialien wurde festgestellt, dass diese in den überwiegenden Fällen selbst bei großflächiger Anwendung keine erhöhte Strahlenexposition verursachen.

Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Im Oktober 2006 wurde ein unterirdischer Kernwaffentest in Nordkorea durchgeführt. Am 25.05.2009 wurde von der Demokratischen Volksrepublik Nordkorea ein zweiter unterirdischer Kernwaffentest bekanntgegeben, der auch von den seismischen Messgeräten des Internationalen Messnetzes registriert wurde. Eine Freisetzung von Radionukliden (sowohl Xenon-Isotope als auch partikelgebunde Radionuklide) wurde in diesem Zusammenhang nicht nachgewiesen, was auf ein sehr gutes Containment hindeutet. Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Im April 1986 kam es im Kernkraftwerk Tschernobyl zum bisher folgenschwersten Reaktorunfall. In den folgenden Tagen wurden große Mengen Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt und über ganz Europa verteilt. In Deutschland waren vor allem Gebiete in Süddeutschland vom radioaktiven Niederschlag betroffen. Die Bodenkontamination mit Cs-137 erreichte hier bis 100.000 Bq/m^2.

Im Jahr 2009 nahm die Strahlenbelastung infolge des Reaktorunfalls weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis betrug weniger als 0,012 Millisievert. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90% durch die Bodenstrahlung von Cs-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes radioaktives Cäsium für das Jahr 2009 beträgt geschätzt 0,001 Millisievert. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition um eine Größenordnung höher sein. Insbesondere Wildschweinfleisch überschreitet hier weiterhin gelegentlich den zulässigen Höchstwert der Cs-137-Kontamination von 600 Bq/kg.

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken, sonstigen kerntechnischen Anlagen, aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und der Schachtanlage Asse wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die aus diesen Ableitungen nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung“ ermittelten oberen Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten. Gegenüber 2008 zeigen die berechneten Werte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen im Inland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland (s. vorstehende Tabelle) lag auch 2009 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2009 ca. 371.000 Personen.

Der Großteil dieser strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 334.000) lag 2009 bei 0,13 Millisievert. Bei ca. 85% der überwachten Personen betrug während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis 0 Millisievert. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 51.000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,84 Millisievert (Vorjahr: 0,79 Millisievert).

Seit 1. August 2003 ist Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann, überwachungspflichtig. Hiervon waren im Jahr 2009 ca. 36.000 Personen betroffen (Vorjahr: ca. 37.000). Die mittlere Jahresdosis dieser Beschäftigten betrug 2,4 Millisievert (Vorjahr: 2,3 Millisievert).

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur mittleren effektiven Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verursacht. Daher erhebt das BfS seit 1991 Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich vertreten durch die kassenärztliche und kassenzahnärztliche Bundesvereinigung und durch den Verband der privaten Krankenversicherung.

Der Beitrag der medizinischen Strahlenexposition lag im Jahr 2008 bei etwa 1,8 Millisievert pro Einwohner. Die nuklearmedizinische Diagnostik trug etwa 0,1 Millisievert zu dieser Strahlenexposition bei. Der Wert für die Röntgendiagnostik ist im Vergleich zu den für die Jahre 2004 bis 2006 gemeldeten Werten geringfügig niedriger, da nun aktuelle von den Ärztlichen Stellen gemeldete Dosiswerte berücksichtigt wurden. Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2008 ist insgesamt jedoch ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen. Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland hat hingegen über den betrachteten Zeitraum alles in allem abgenommen, wobei im Jahr 2008 durchschnittlich etwa 1,65 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner durchgeführt wurden. Der insgesamt ansteigende Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr ist im Wesentlichen auf die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen zurückzuführen. Die CT trug 2008 zur Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen lediglich etwa 8% bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug jedoch rund 60%.

Zwischen 2004 und Anfang 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Das Mammographie-Screening-Programm wird nun flächendeckend angeboten.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik sind die Schilddrüsen- und die Skelettszintigraphie die häufigsten Untersuchungen. Auch die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren gewinnt auf Grund der hohen diagnostischen Aussagekraft des Verfahrens immer mehr an Bedeutung.

Bemerkenswert ist die über den Zeitraum 1996 bis 2008 beobachtete gleichzeitige Zunahme von Magnet- Resonanz-Tomographie (MRT)-, Ultraschall- und CT-Untersuchungen. Die Zunahme alternativer Untersuchungsverfahren ohne Anwendung von Röntgenstrahlen - insbesondere die deutliche Zunahme der MRT - führt somit entgegen der Erwartungen nicht zu einer Abnahme der Untersuchungsfrequenz von CT-Anwendungen.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik

Bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe zu technischen Zwecken und in der Forschung ist gegenüber dem Vorjahr keine Änderung eingetreten. Die Strahlenexposition von Einzelpersonen und der Gesamtbevölkerung durch technische Geräte wird durch die Bestimmungen der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung begrenzt und ist so niedrig wie möglich gehalten.

Radioaktive Abfälle

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) jährlich eine Erhebung radioaktiver Reststoffe und Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland durch. Hierbei

werden der Bestand an radioaktiven Reststoffen, Rohabfällen und Abklingabfällen sowie der Anfall und Bestand konditionierter radioaktiver Abfälle ermittelt.

Der Bestand endlagerfähiger radioaktiver Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) betrug am 31. Dezember 2009 96.410 m^3 (Vorjahr: 93.932 m^3). Der Bestand an (vernachlässigbar wärmeentwickelnden) Zwischenprodukten und unbehandelten Abfällen belief sich auf 8.220 m^3 und 20.378 m^3 (Vorjahr: 7.319 m^3 und 20.099 m^3).

Der Bestand konditionierter wärmeentwickelnder Abfälle betrug 2009 605 m^3 (Vorjahr 598 m^3). Es waren weitere 31 m^3 wärmeentwickelnde Abfälle in unbehandelter Form und 1.251 m^3 als Zwischenprodukte zwischengelagert.

Bis zum 31.12.2009 sind in Deutschland 13.094 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen (Vorjahr: 12.790 Tonnen). Davon wurden 6.662 Tonnen zur Wiederaufarbeitung im Ausland abgegeben.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Diese Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst. Die Mehrzahl der im Jahr 2009 gemeldeten Vorkommnisse betrafen Funde von radioaktiven Stoffen auf Mülldeponien, die durch eine unzulässige Entsorgung verursacht wurden. Dabei kam es in einem Fall beim Fund einer Cs-137-Quelle zu einer Ganzkörperexposition von max. 2 mSv . Durch Verwechslung von Patienten in medizinischen Einrichtungen kam es im Rahmen von Strahlentherapien zu Fehlbestrahlungen. Die Organisationsabläufe wurden überprüft und Änderungen eingeleitet.

Nichtionisierende Strahlung

Mit dem zunehmenden Technisierungsgrad der Umwelt steigt auch die Zahl der Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nicht-ionisierender Strahlung beitragen. Dies sowie neue technische Entwicklungen stellen auch in 2009 Herausforderungen für den Strahlenschutz dar. Um die Risikobewertung bezüglich Wirkungen elektromagnetischer Felder auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurden im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesumweltministeriums (BMU) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sowohl im Bereich „Statischer Magnetfelder“ als auch in den Bereichen „Niederfrequente und hochfrequente elektromagnetischer Felder“ sowie „Optische Strahlung“ auch in 2009 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Im Bereich der statischen Magnetfelder beziehen sich diese Vorhaben auf die Erfassung und gesundheitliche Bewertung der real auftretenden Expositionen bei Magnetresonanztomographie(MRT)-Anwendungen. Im Bereich „Niederfrequenz“ wurden u. a. Untersuchungen zur Verbesserung der Datenlage bezüglich niederfrequenter Felder und Leukämie im Kindesalter begonnen. In Bereich hochfrequenter elektromagnetischer Felder befassen sich die neu initiierten Forschungsvorhaben mit der Klärung der Frage zu möglichen Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten von mehr als 10 Jahren und bezüglich der Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene. Zusätzlich wurde im Jahr 2009 weitere Forschung im Bereich Risikokommunikation betrieben u. a. mit dem Ziel, mittels verbesserter Kommunikation und Information einen sachlichen Umgang mit dem Thema „Elektromagnetische Felder“ in der Bevölkerung zu unterstützen.

Im Bereich der „Optischen Strahlung“ sind vor allem die langfristigen gesundheitlichen Schäden durch UV-Strahlung Grund sowohl für weitere Forschungsvorhaben als auch für die Verbesserung der Risikokommunikation sowie der Informationsmaßnahmen des BfS. Die Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs ist mit einem seit Jahrzehnten veränderten Freizeitverhalten assoziiert. Das BfS hat sich daher auch 2009 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung der Bevölkerung zu reduzieren. Hierzu gehört u. a. die fortlaufende Messung der natürlichen UV-Strahlung mit Hilfe des in Deutschland seit 1993 etablierten UV-Monitorings des BfS, des Umweltbundesamtes (UBA) sowie weiteren fünf Institutionen und die Veröffentlichung des davon abgeleiteten UV-Indexes. Die für das Berichtsjahr 2009 ermittelten Daten wiesen vor allem in den Frühsommer-Monaten Maximalwerte des UV-Index von über acht auf, also eine UV-Strahlungsintensität, bei der Schutzmaßnahmen unbedingt erforderlich sind. In Bezug auf die Anwendung künstlicher UV-Strahlung wurde vom BfS bereits 2003 ein freiwilliges Zertifizierungsverfahren für Solarien bzw. Sonnenstudios geschaffen. Es ließen sich bis Ende 2008 knapp 800 Sonnenstudios nach den hierfür extra ausgearbeiteten Kriterien des Runden Tisches Solarien (RTS) zertifizieren. In 2009 wurden keine weiteren Sonnenstudios zertifiziert. Dies liegt zum Einen an der im Zertifizierungsverfahren seit Mitte 2008 geforderten Begrenzung der maximalen Gesamtbestrahlungsstärke aller Solarien auf 0,3 W/m^2, zum Anderen an der Einführung gesetzlicher Regelungen: zurückgehend auf die Initiative des BMU und des BfS trat im August 2009 das Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nicht-ionisierender Strahlung (NiSG) in Kraft. Seitdem ist es Solarienbetreibern verboten, Minderjährigen die Nutzung von Solarien zu erlauben. Das Gesetz stellt auch die Ermächtigungsgrundlage für eine Rechtsverordnung bezüglich Solarien dar. Diese basiert auf den Kriterien des freiwilligen Zertifizierungsverfahrens und befindet sich derzeit im politischen Abstimmungsprozess.

SUMMARY

Since 1958, all data on environmental radioactivity from measurements performed by authorised laboratories have been published in quarterly reports and, since 1968, in annual reports. In addition to the results from environmental monitoring, these reports include data on the population exposure due to natural and man-made radiation sources. In the following, information is given on exposures

- sources of natural and technologically enhanced radioactivity,
- nuclear weapons tests,
- effects from the Chernobyl reactor accident,
- nuclear installations,
- occupational exposure,
- medical applications,
- the handling of radioactive substances in research and technology,
- radioactive waste,
- radiation accidents or other emergencies.

Since 2001, this report has also contained information about non-ionising radiation and research in this field.

The table below shows the mean radiation exposure of the general public in the Federal Republic of Germany in 2009, broken down into the various sources of radiation. The mean effective dose is about 3,9 mSv and therefore remained almost unchanged, compared to the previous year.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2009

		Mean effective dose mSv/year		
1.	Radiation exposure from natural sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx.	0.3	
1.2	external terrestrial radiation	approx.	0.4	
	outdoor (5 h/d)			approx. 0.1
	indoor (19 h/d)			approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx.	1.1	
	outdoors (5 h/d)			approx. 0.2
	indoors (19 h/d)			approx. 0.9
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx.	0.3	
Total natural radiation exposure		**approx.**	2.1	
2.	Radiation exposure from man-made sources			
2.1	fallout from nuclear weapons tests		< 0.01	
2.2	effects from the accident in the Chernobyl nuclear power plant		0.012	
2.3	nuclear installations		< 0.01	
2.4	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine	approx.	1.8	
	diagnostic nuclear medicine* (therapy excluded)			approx. 0.1
Total of man-made radiation exposure		**approx.**	1.8	

* according to data from 2008, evaluation from 2010

Natural radiation sources

Exposure from natural radiation sources consists of both an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. A major source of external radiation exposure consists of both cosmic and terrestrial radiation from the natural radionuclide K-40 together with the radionuclides of the natural decay chains of U-238 and Th-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by the inhalation of the natural noble gas radon and its daughter nuclides, and partially also by the intake of natural radioactive substances with drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 millisievert per year. The nominal mean value, calculated on the basis of the dose factors set out in the EURATOM basic safety standards, is 2.1 millisievert per year, resulting in particular from the inhalation of radon in buildings. An annual comparison shows that there are only slight variations in exposure to natural radiation sources. All individual contributions to the annual mean effective dose are listed in the above table.

Mining and industry relics

In the process of remediation works carried out by Wismut GmbH in the former uranium ore mining area in Saxony and Thuringia, radionuclides of the uranium/radium decay chain arise in air and water which are discharged into the environment with permission of the competent authorities. A mining-related increase in the concentration of radon in air close to ground level is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; the concentration decreases with increasing distance from such facilities. The overall results of the measurements show the occurrence of above-average radon concentrations in the aforementioned uranium mining regions but, since such concentrations occur also in geologically comparable regions, these are assumed to be mainly of natural origin. The discharge of uranium and radium and their respective decay products from mining facilities into drainage areas of the mining regions does not cause an appreciable change of the natural level of these radionuclides in these drainage areas. The discharge of radioactive substances (Rn-222 and long-lived alpha emitters, uranium and Ra-226) through the exhaust air and effluents from subsurface mining facilities in areas belonging to the Wismut redevelopment project are subject to certain fluctuations, depending on the course of remediation measures and the weather, but show a decreasing tendency altogether.

Radon in buildings

In Germany, the annual mean value of the radon activity concentration in occupied spaces is about 50 Bq/m^3, which corresponds to a mean annual effective dose of about 0.9 mSv. Measurements performed during recent years revealed considerable regional variations in natural radiation exposure, because the concentrations of natural radioactive substances in soil and air differ largely. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure due to the inhalation of radon and its decay products. In the year under report, studies were continued relating to the impact of mining activities and mining relics on the radon concentration in dwellings in the Western Erzgebirge and in a coal-mining area in North Rhine-Westphalia. During the last few years, national and international epidemiological studies were performed in order to obtain estimates of the health risk associated with increased exposures of the general public to radon decay products. The studies revealed a significant increase in lung cancer risk by about 10% per 100 Bq/m^3.

Radioactive substances in building materials and industrial products

Current analyses of ordinary industrially fabricated building materials designed for use indoors confirmed that the dose caused by their concentrations of the natural radionuclides Ra-226, Th-232, and K-40 is about 0.3 mSv per year on the average and may reach up to 1 mSv per year in individual cases. This means that the Europe-wide criterion accepted to limit radiation exposure from building materials is observed. Discharges of Rn-222 from mineral building materials were also accounted for, but turned out to be generally small. When investigating natural stone building materials used in dwellings it was established that in most cases these building materials do not cause enhanced radiation exposure, even when used in large amounts.

Nuclear weapons testing

Numerous atmospheric nuclear weapons tests were carried out from 1945 to 1980, but since 1981 only underground tests have been performed. One underground nuclear weapon test was conducted in North Korea in October 2006. A second underground test was announced by the Democratic Peoples' Republic of North Korea on 25 May 2009 and was also recorded by the seismic measuring devices of the International Measuring Network. There was no evidence of radionuclide release in this context (neither of Xenon isotopes nor of particle-bound radionuclides), which is suggestive of a very good containment. The general level of environmental radioactivity due to former tests in the atmosphere has steadily decreased since the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty from 1964. At present its contribution to the total of human radiation exposure is less than 0.01 mSv per year.

Chernobyl reactor accident

In April 1986, a reactor accident occurred in the Chernobyl nuclear power plant which has had the most serious consequences so far. In the days following that accident, large amounts of radionuclides were released into the atmosphere and distributed all over Europe. In Germany, mostly areas in Southern Germany were affected by the radioactive fallout. Soil contamination with Cs-137 reached up to 100.000 Bq/m^2 here.

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2009; the mean effective dose was less than 0.012 millisievert. It amounts to less than one percent of the natural radiation exposure; about 90% of this radiation is caused by Cs-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium with food is estimated to have been less than 0.001 millisievert in 2009. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be one order of magnitude higher. In particular the concentration of Cs-137 in wild boar meat still occasionally exceeds the maximum value permissible of 600 Bq/kg.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power plants, from the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) and the Asse mine contributes only insignificantly to the radiation exposure of the population. The upper values for exposures to individuals, calculated in accordance with the „General Ad-

ministrative Guideline relating to § 47 of the Radiation Protection Ordinance“ are clearly below the limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported for 2008. The annual contribution from domestic nuclear installations and other installations located close to the German borders to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained again in 2009 below 0.01 millisievert.

Occupational radiation exposure

In Germany, all employees who might receive enhanced radiation doses during their occupation are subject to radiation protection monitoring.

The major part of these persons (approx. 371.000 in 2009) is monitored through personal dosimeters. The average annual individual dose (measured in approx. 334.000 individuals) amounted to about 0.13 millisievert in 2009. In about 85% of all persons controlled the individual dose was 0 millisievert throughout the complete monitoring period. An average annual individual dose of 0.84 millisievert (preceding year: 0.79 millisievert) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 51.000).

Since August 1, 2003, aircrews who are in an employment according to German Labour Law and who can receive an effective dose of at least 1 mSv per calendar year from cosmic radiation during the flight must be monitored. In 2009, this applied to approx. 36.000 individuals (preceding year: 37.000 individuals). The average annual dose of these employees amounted to 2.4 millisievert (preceding year: 2.3 millisievert).

Medical applications

The major part of the mean effective population dose from man-made radiation exposure is caused by medical applications of radioactive substances and ionising radiation. Since 1991, BfS therefore has collected and analysed data on medical radiation exposure in Germany. These data are generally supplied by organisations which bear the costs of medical care, mainly the associations of the social and private health insurance.

In 2008, medical applications contributed about 1.8 millisievert per inhabitant, of which about 0.1 millisievert was due to nuclear medical diagnostic procedures. The data for X-ray diagnostics is slightly lower, compared to those reported for the period from 2004 to 2006, since topic dose values as reported by the medical services were accounted for this time. However, the obervation period from 1996 to 2008 alltogether reveals an upward trend for the mean effective dose per inhabitant and year. In contrast, the frequency of X-ray examintations conducted during this period in Germany decreased, with an average of about 1.65 X-ray examinations per inhabitant in 2008. The upward trend observed at large for the mean effective dose per inhabitant and year is primarily due to the steady increase in uses of computerised tomography (CT). CT examinations had a share of only 8 per cent in the total frequency of X-ray diagnostics in 2008 but contributed about 60% to the collective effective dose.

From 2004 to the beginning of 2009 the quality-assured, population-based Mammography Screening Program was introduced nationwide for all (symptom-free) women between 50 and 69 years of age. The Mammography Screening Program is now offered on a nationwide scale.

In nuclear medical diagnostics, thyroid and skeletal scintigraphy are the most frequent methods of examination. Positron Emission Tomography (PET), too, becomes more important as it is a tool of high diagnostic value.

It is most remarkable that the number of Magnetic Resonance Imaging (MRI), ultrasonic and CT examinations increased simultaneously from 1996 to 2008. Against expectations, however, the increase in alternative diagnostic procedures, i.e. without application of X-rays, and in particular the remarkable increase in MRI does not lead to a decreasing application frequency of CT.

The handling of radioactive substances in research and technology

The use of ionising radiation and radioactive substances for technological and research purposes has not changed in comparison to the preceding year. The radiation exposure to individuals and the population as a whole from mechanical devices is limited by the stipulations of the X-Ray Ordinance and the Radiation Protection Ordinance and this is kept as low as reasonably achievable.

Radioactive waste

By order of the Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), the Federal Office for Radiation Protection (BfS) conducts an annual survey of radioactive residues and nuclear waste in the Federal Republic of Germany. In this process an inventory is made of radioactive residues, primary waste and decay waste, and the accumulation and amount of conditioned radioactive waste is determined.

On 31 December 2009, the amount of radioactive waste (with neglegible heat generation) in a suitable state for long-term disposal was 96.410 m^3 (preceding year: 93.932 m^3). The amount of intermediate products (with negligible heat generation) and untreated waste was 8.220 m^3 and 20.378 m^3 (preceding year 7.319 m^3 and 20.099 m^3).

The amount of conditioned heat-generating waste in Germany was 605 m^3 in 2009 (preceding year 598 m^3). Another 31 m^3 of heat-generating, untreated waste and 1.251 m^3 of intermediates were subject to interim storage. A total of 13.094 tons of HM (heavy metal = uranium + plutonium) of spent fuel elements was produced up to 31 December 2009 (preceding year: 12.790 tons), of which 6.662 tons were delivered abroad for reprocessing.

Radiation accidents and exceptional events

Due to the stringent provisions of the radiation protection law, radiological emergencies involving persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. These events are summarised in this report on an annual basis. Most of the exceptional events reported in 2009 related to radioactive substances discovered at landfill sites as a result of undue waste disposal. There was one case of whole-body exposure to a maximum of 2 mSv occurrring upon discovery of a Cs-137 source. Mix up of patients in medical facilities led to erroneous irradiations within the scope of radiation therapy. The organizational procedures were checked and rearrangements were initiated.

Non-Ionising radiation

The growing level of technology of human environment is associated with increasing numbers of sources contributing to exposures of the general public to non-ionizing radiation. Together with further technical advancements, this is a challenge for radiation protection also in 2009. In order to obtain a solid data base for evaluation of risk associated with electromagnetic fields, BfS continued to initiate and co-ordinate research projects within the scope of the Ufoplan of the Federal Environment Ministry (BMU) also in 2009. These projects covered the areas of both "Static Magnetic Fields" and "Low-frequency and high-frequency electromagnetic fields", as well as "Optical radiation". In the area of "static magnetic fields" these projects involve determination and health-related evaluation of actual exposures in magnetic resonance imaging (MRI). In the "low-frequency" area, studies have been initiated to improve the data available as to low-frequency fields and childhood leukaemia. Ongoing research in the area of "high-frequency electromagnetic fields" aims at answering the question of possible long-term risks for mobile phone use periods exceeding 10 years and the question of whether exposure, or sensitivity, to electromagnetic fields is higher in children than in adults. In addition, further research was conducted in the area of risk communication in 2009, with a view to improving communication and information, among other things, thus supporting a matter-of-fact handling of the subject "Electromagnetic fields" in the general public.

In the field of "Optical Radiation" there is reason for further research projects and for improvements of both risk communication and information procedures on the part of BfS, mainly on account of the long-term health detriment caused by UV-Radiation. The alarming increase of skin cancer is associated with the changes in spare time behaviour observed for decades. BfS therefore spoke up for the implementation of measures to reduce UV exposure of the population also in 2009. Among other things, this includes continuous measurements of natural UV-radiation carried out by BfS, UBA (Federal Environment Agency), and five other institutions within the scope of UV monitoring that has been established in Germany since 1993, as well as publication of the UV-index derived from these measurements. The data compiled for the reporting year 2009 reveal maximum UV index values of > 8 particularly for the early summer months, i.e. an intensity of UV-radiation where protective measures are absolutely essential. In relation to uses of artificial UV-radiation, BfS established a voluntary certification procedure for solaria already in 2003. Until the end of 2008, almost 800 solaria were certified according to the criteria worked out especially for this purpose within the scope of the "Round Table Solaria" (RTS, Runder Tisch Solarien). No further solaria were certified in 2009. On the one hand this is due to the total irradiation limit of 0,3 W/m^2 for all solaria as required under the certification procedure since mid-2008, on the other hand it is on account of legal provisions introduced more recently: Based on the BMU and BfS initiative, the Act on Protection against non-ionising radiation (Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nicht-ionisierender Strahlung, NiSG) entered into force on August 2009. Since then, operators of solaria have been banned from permitting minors to use solaria. The Act also constitutes a source of authorization for a Regulation relative to solaria. This latter has been drafted based on the criteria laid down for the voluntary certification procedure and is subject to the political voting procedure at present.

RÉSUMÉ

Les taux de radioactivité dans l'environnement humain mesurés par les stations officielles de mesure sont publiés, sous forme de rapports trimestriels depuis 1958, et de rapports annuels depuis 1968. Ces rapports contiennent, en plus des résultats concernant la surveillance de la radioactivité de l'environnement, des données sur l'exposition du public aux rayonnements due aux sources naturelles et artificielles. Le présent résumé expose les principaux résultats concernant l'exposition aux rayonnements due

- aux sources de radioactivité naturelle, y compris aux sources de radioactivité naturelle changées par la civilisation
- aux essais nucléaires
- aux conséquences de l'accident du réacteur de Tchernoby
- aux installations nucléaires
- à l'activité professionnelle
- aux applications médicales
- à la manipulation de substances radioactives dans le domaine de la recherche et des technologies
- aux déchets radioactifs
- aux accidents radiologiques et événements particuliers

Depuis 2001, le rapport contient également des informations sur les rayonnements non-ionisants et les travaux de recherche menés dans ce domaine.

Le tableau ci-dessous montre la moyenne d'exposition aux rayonnements de la population de la République Fédérale d'Allemagne en 2009 selon les différentes sources d'exposition. Comparée aux années précédentes, la dose effective moyenne reste quasiment inchangée; elle s'élève à environ 3,9 mSv.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION
DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2009

		Dose effective moyenne millisievert par an	
1.	Exposition naturelle par source		
1.1	rayonnements cosmiques (au niveau de la mer)	env. 0,3	
1.2	rayonnements terrestres externes	env. 0,4	
	à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,1
	à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,3
1.3	produits de filiation de radon (par inhalation)	env. 1,1	
	à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,2
	à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,9
1.4	ingestion de substances radioactives naturelles	env. 0,3	
Chiffre total de l'exposition naturelle aux rayonnements		env. 2,1	
2.	Exposition artificielle par source		
2.1	retombées des essais nucléaires	<0,01	
2.2	accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	<0,012	
2.3	installations nucléaires	<0,01	
2.4	applications médicales de substances radioactives et de rayonnements ionisants* (sans thérapie)	env. 1,8	
	dont examens en médecine nucléaire		env. 0,1
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 1,8	

* données de l'année 2008, évaluation faite en 2010

Sources naturelles de rayonnements

L'exposition naturelle aux rayonnements se compose d'une contribution externe et interne, causée par les substances radioactives naturelles présentes dans l'environnement. La contribution externe est due essentiellement au rayonnement cosmique ainsi qu'au rayonnement émis par le radioisotope naturel potassium-40 et les radionucléides appartenant aux chaînes de désintégration de l'uranium-238 et du thorium-232, rayonnement provenant du sol et des bâtiments. La contribution interne de l'exposition aux rayonnements est causée particulièrement par l'inhalation du gaz rare radon d'origine naturelle et de ses produits de filiation, et partiellement par l'ingestion de substances radioactives naturelles contenues dans l'alimentation, y compris l'eau potable. La dose efficace annuelle typique due aux sources naturelles de rayonnements varie entre 1 et 6 millisievert. En appliquant les facteurs de dose définis dans les normes de base EURATOM, on arrive à une valeur moyenne nominale de 2,1 millisievert par an, dont la source est principalement le radon à l'intérieur des maisons. L'exposition naturelle aux rayonnements ne varie que faiblement d'un an à l'autre. La part des diverses sources contribuant à la dose efficace moyenne par an est indiquée dans le tableau ci-dessus.

Anciens sites miniers et industriels

Les travaux d'assainissement que la société Wismut GmbH est en train d'effectuer dans l'ancienne région d'extraction de minerais d'uranium en Saxe et Thuringe occasionnent la présence de radionucléides de la chaîne de désintégration de l'uranium/du radium dans l'air et dans les eaux. Ces radionucléides sont rejetés dans l'environnement avec l'autorisation des autorités compétentes. Ce n'est qu'à proximité immédiate des installations minières que les activités minières causent des concentrations élevées de radon dans l'air au niveau du sol, le taux diminuant rapidement avec la distance. Globalement, les mesures réalisées font état de concentrations de radon supérieures à la moyenne dans les régions uranifères mentionnées ci-dessus, mais les mêmes concentrations sont également observées dans des régions avec une géologie comparable. Elles sont donc apparemment d'origine naturelle. Les rejets liquides d'uranium, de radium et de leurs produits de désintégration provenant des installations minières dans les régions uranifères n'ont aucune influence, ou seulement une influence négligeable sur le niveau naturel de ces radionucléides dans le milieu récepteur. Les rejets liquides et gazeux de substances radioactives (radon-222 et émetteurs alpha à vie longue, uranium et radium-226) provenant des mines souterraines dans la région où des travaux d'assainissement sont effectués par la société Wismut varient selon les influences météorologiques et le progrès de l'assainissement, mais dans l'ensemble ils présentent une tendance à la baisse.

Radon dans les bâtiments

La valeur moyenne annuelle de la concentration d'activité du radon dans les parties habitées des bâtiments s'élève à 50 Bq/m^3 en Allemagne, ce qui est équivalent à une dose efficace moyenne de 0,9 mSv par an. Les mesures effectuées aux cours des dernières années ont mis en évidence des différences régionales considérables quant à l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et dans l'air. La construction de bâtiments sur un terrain à teneur élevée en uranium et en radium et, dans une moindre mesure, l'utilisation de matériaux de construction à teneur élevée en substances radioactives naturelles, provoquent une augmentation de l'exposition aux rayonnements de la population, due à l'inhalation du radon et de ses produits de filiation. Durant l'année sous revue, ont été poursuivies les études sur l'influence des activités minières et de ses résidus sur la concentration de radon dans les bâtiments situés dans l'ouest des monts Métallifères et dans une région houillère en Rhénanie du Nord-Westphalie. Des études épidémiologiques nationales et internationales ont été effectuées ces dernières années afin d'estimer le risque que les expositions élevées aux produits de filiation du radon présentent pour la santé de la population. Ces études montrent une augmentation significative du risque de cancer du poumon, qui s'élève à environ 10% par 100 Bq/m^3.

Substances radioactives contenues dans les matériaux de construction et les produits industriels

Des études récentes portant sur les concentrations des radionucléides naturelles radium-226, thorium-232 et potassium-40 dans les matériaux de construction courants produits industriellement pour l'usage à l'intérieur des bâtiments confirment que la dose annuelle moyenne qu'ils provoquent s'élève à environ 0,3 mSv et qu'elle peut atteindre, dans des cas exceptionnels, jusqu'à 1 mSv. Ceci est conforme à la norme de limitation de la radioexposition due aux matériaux de construction reconnue au niveau européen. Les études ont aussi analysé le dégagement de radon-222 des matériaux de construction minéraux, mais celui-ci s'est avéré comme étant généralement faible. Il en est de même des pierres naturelles utilisées à l'intérieur des bâtiments. Les études ont révélé que, dans la plupart des cas, ce matériau ne cause pas d'exposition élevée, même s'il est utilisé sur une surface étendue.

Essais nucléaires

De 1945 à 1980, un grand nombre d'essais nucléaires a été réalisé dans l'atmosphère ; depuis 1981, seuls des essais nucléaires souterrains ont été effectués. En octobre 2006, un essai nucléaire souterrain a eu lieu en Corée du Nord.

Le 25 mai 2009, la République Populaire Démocratique de Corée a fait part d'un deuxième essai nucléaire souterrain qui a été également enregistré par les dispositifs de mesure sismique du réseau de mesure international. Aucun relâchement de radionucléides (ni isotopes xénon ni radionucléides liés aux particules) n'a été détecté dans ce contexte, ce qui indique un très bon confinement.

Le niveau général de radioactivité de l'environnement causé par les essais atmosphériques effectués par le passé a constamment baissé depuis le Traité interdisant les essais d'armes nucléaires de 1964. Actuellement, il représente une contribution inférieure à 0,01 mSv par an à la radioexposition totale de l'homme.

Accident du réacteur de Tchernobyl

En avril 1986 le plus grave accident de réacteur constaté jusqu'à présent est survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl. Dans les journées suivantes, une grande quantité de radionucléides a été dégagée dans l'atmosphère et s'est répandue sur toute l'Europe. En Allemagne c'étaient surtout les régions du Sud qui ont souffert des retombées radioactives. La contamination en Cs-137 des sols y atteignait jusqu'à 100.000 Bq/m^2.

En 2009, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement; la dose efficace moyenne était en dessous de 0,012 millisievert. Elle était ainsi largement inférieure à un pour cent de la radioexposition naturelle, et résultait d'environ 90% du rayonnement du sol dû au césium-137. Pour l'année 2009, la dose efficace moyenne due au radiocésium ingéré avec la nourriture est estimé à 0,001 millisievert. En Allemagne du Sud,

cette exposition peut atteindre 0,01 millisievert. Dans cette région, c'est surtout la contamination en Cs-137 de la viande de sanglier qui surpasse occasionnellement la valeur maximale autorisée de 600 Bq/kg.

Génie nucléaire

Les rejets de matières radioactives provenant des CNPE, d'autres installations nucléaires, de l'ancien centre de stockage définitif de déchets radioactifs à faible et moyenne activité de Morsleben (ERAM) et de la mine de Asse ne causent qu'une faible augmentation de la radioexposition moyenne de la population. Les valeurs supérieures de la radioexposition des individus, déterminées conformément au Règlement administratif général au paragraphe 47 du Règlement sur la Protection contre les rayonnements (*Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung*), sont restées nettement inférieures aux limites de dose fixées par le Règlement sur la protection contre les rayonnements. De manière générale, les niveaux de radioexposition calculés n'ont pas changé considérablement par rapport à 2008. En 2009, les installations nucléaires allemandes, ainsi que celles des pays voisins, ont de nouveau apporté une contribution de moins de 0,01 millisievert par an à la dose efficace moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne.

Exposition professionnelle aux rayonnements

En Allemagne, toute personne travaillant dans un secteur à rayonnement élevé est soumise à une surveillance à des fins de radioprotection. En 2009 près de 371.000 personnes étaient affectées en Allemagne. La plus grande part de ces personnes exposées aux rayonnements a été surveillée à l'aide de dosimètres. La dose efficace moyenne de toutes les personnes surveillées de cette manière (environ 334.000) était de 0,13 millisievert en 2009. Pour environ 85% des personnes surveillées, la dose individuelle était de 0 millisievert pendant toute la période de surveillance. Les personnes surveillées chez lesquelles une dose a pu être constatée (environ 51.000) ont présenté une dose individuelle moyenne de 0,84 millisievert (2008 : 0,79 millisievert).

Depuis le 1er août 2003, le personnel navigant soumis au droit du travail allemand et susceptible de recevoir une dose efficace d'au moins 1 millisievert par année civile due aux rayonnements cosmiques est soumis à surveillance. En 2009, environ 36.000 personnes étaient affectées par cette réglementation (2008 : 37.000 personnes). Leur dose moyenne annuelle s'élevait à 2,4 millisievert (2008 : 2,3 millisievert).

Applications médicales

La plus grande part de la dose efficace moyenne due à l'exposition artificielle aux rayonnements provient de l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants en médecine. De ce fait, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) a commencé, en 1991, à collecter et analyser des données sur la radioexposition médicale en Allemagne. Les sources de données les plus importantes sont les financeurs, représentés surtout par l'association fédérale des médecins de caisse, l'association fédérale des chirurgien-dentistes conventionnés et l'association des assurances maladies privées en Allemagne.

En 2008, la radioexposition médicale était d'environ 1,8 millisievert par habitant. Les procédures de diagnostic en médecine nucléaire représentaient environ 0,1 millisievert de cette exposition. L'exposition due aux examens radiographiques était légèrement en-dessous des valeurs déclarées dans les années 2004 à 2006, étant donné que l'analyse a pris en compte des valeurs de dose d'actualité déclarées par les *Ärztliche Stellen*. Il ne reste pas moins qu'on constate globalement une tendence à la hausse en ce qui concerne la dose efficace moyenne par habitant et par an dans la période de référence 1996 à 2008. La fréquence des examens radiographiques en Allemagne a néanmoins baissé globalement durant cette période ; en moyenne, environ 1,65 examens radiographiques ont été réalisés par habitant en 2008. La tendence à la hausse de la dose efficace moyenne résulte pour l'essentiel de l'augmentation constante du nombre d'examens tomodensitométriques (scanner). Bien que les examens tomodensitométriques ne représentaient qu'environ 8% de tous les examens radiographiques en 2008, sa part dans la dose efficace collective constituait cependant près de 60%.

Entre 2004 et le début de 2009 le programme de dépistage mammographique (intégrant une démarche assurance qualité) a été introduit à l'échelle nationale pour toutes les femmes (asymptomatiques) agées entre 50 et 69 ans. Aujourd'hui, ce programme est offert partout dans le pays.

En ce qui concerne le diagnostic en médecine nucléaire, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. De même, la tomographie à émission de positrons (PET) gagne en importance en tant que méthode diagnostique en médecine nucléaire en vertu de sa grande validité diagnostique.

Il est remarquable que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les échographies et la tomodensitométrie ont tous progressés en même temps entre 1996 et 2008. Contre toute attente, l'accroissement de procédures d'examen alternatives, c'est-à-dire sans application de rayons x, - surtout la hausse considérable de l'IRM - n'a donc pas entraîné une application décroissante de la tomodensitométrie.

Manipulation de substances radioactives dans le domaine de la recherche et des technologies

L'application de rayonnements ionisants et de substances radioactives à des fins techniques et dans la recherche n'a pas changé par rapport à l'année précédente. La radioexposition des individus et de la population générale, due aux appareils techniques, est limitée et maintenue le plus bas possible par les stipulations du Règlement sur les Rayons X (Röntgenverordnung) et du Règlement sur la protection contre les rayonnements (Strahlenschutzverordnung).

Déchets radioactifs

L'Office fédéral de Radioprotection (BfS) procède annuellement à un recensement des résidus et déchets radioactifs en R.F.A pour le compte du Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sûreté nucléaire (BMU). Cette exercice détermine le stock de résidus, déchets primaires et déchets de désactivation radioactifs, ainsi que la quantité des déchets radioactifs conditionnés nouveaux et anciens.

Au 31 décembre 2009, le stock de déchets radioactifs peu thermogènes conditionnés pour le stockage définitif était de 96.410 m^3 (2008 : 93.932 m^3). Le stock de produits intermédiaires et de déchets non-traités peu thermogènes était de 8.220 m^3 et de 20.378 m^3 respectivement (2008 : 7.319 m^3 et 20.099 m^3).

Le stock de déchets radioactifs thermogènes conditionnés s'élevait à 605 m^3 en 2009 (2008 : 598 m^3). D'autres 31 m^3 de déchets thermogènes étaient entreposés en état non-traité et 1.251 m^3 étaient entreposés en tant que produits intermédiaires.

Jusqu'au 31 décembre 2009, la quantité de métaux lourds (uranium + plutonium) provenant d'éléments combustibles irradiés s'élevait à 13.094 tonnes en Allemagne (2008 : 12.790 tonnes). De cette quantité, 6.662 tonnes ont été exportées afin d'être retraitées à l'étranger.

Accidents radiologiques et événements particuliers

Grâce aux dispositions juridiques strictes en matière de radioprotection, rares sont les incidents soumis à déclaration impliquant des personnes en contact avec des rayonnements ionisants ou des matières radioactives. Le présent rapport rassemble ces incidents chaque année. La plupart des incidents déclarés au cours de l'année 2009 avait trait à la découverte de substances radioactives sur les décharges dû à des activités d'élimination non conformes à la réglementation. Un des incidents, la découverte d'une source césium-137, a engendré une exposition globale qui n'a pas excédé les 2 mSv. Des erreurs d'identification de patients dans des établissements médicaux ont provoqué des anomalies d'exposition dans le cadre de radiothérapies. Le facteur organisationel a été analysé et des modifications ont été introduites.

Rayonnements non ionisants

L'avancée technologique provoque une augmentation du nombre de sources contribuant à une exposition du public aux rayonnements non ionisants. En 2009, ce phénomène en combinaison avec les développements techniques les plus récents a de nouveau posé des défis en matière de radioprotection. Afin de permettre une évaluation, sur la base de données solides, des risques présentés par les champs électromagnétiques, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) a continué, en 2009, à initier et à coordonner des projets de recherche dans le cadre du plan de recherche environnement du Ministère de l'Environnement (BMU) tant dans le domaine des champs magnétiques statiques que dans les domaines des champs électromagnétiques de basse et de haute fréquence et des rayonnements optiques. Dans le domaine des champs magnétiques statiques, les projets portaient sur le recensement et l'évaluation santé des expositions réelles dues aux appliquations IRM. Dans le domaine de la basse fréquence, ont été lancées entre autres des études pour améliorer la disponibilité de donnnées sur les champs de basse fréquence et les leucémies chez les enfants. Dans le domaine des champs électromagnétiques de haute fréquence, les nouveaux projets de recherche portaient sur les risques potentiels à long terme liées à l'utilisation de téléphones mobiles sur une période de plus de 10 ans et sur la question de savoir si les enfants étaient plus exposés aux champs électromagnétiques de haute fréquence ou s'ils réagissaient plus sensiblement que les adultes. En plus la recherche sur la communication des risques a été poursuivie en 2009 avec pour objectif entre autres de promouvoir une discussion objective de la question des champs électromagnétiques dans le public grâce à une amélioration de la communication et des informations.

En ce qui concerne les rayonnements optiques, ce sont surtout les impacts sur la santé sur le long terme causés par les rayonnements UV qui justifient d'initier de nouveaux projets de recherche et d'améliorer la communication des risques et les mesures d'informations du BfS. On constate une croissance inquiétante du nombre de cancers de la peau dû à une modification des activités de loisirs qui a commencé il y a quelques décennies. Face à cette situation, le BfS a continué en 2009 de soutenir la mise en place de mesures visant à réduire l'exposition de la population aux rayonnements UV. Les mesures continues du taux de rayonnement UV naturel dans le cadre de la surveillance UV établie en Allemagne depuis 1993 et réalisée conjointement par le BfS, l'Office fédéral de l'environnement (*Umweltbundesamt* - UBA) et cinq autres institutions ainsi que la publication de l'index UV basé sur les résultats des mesures en constituent des éléments majeurs. Les données collectées pour 2009 ont fait état de valeurs maximales de l'index UV supérieures à 8 surtout au début de l'été, une intensité du rayonnement UV donc, qui exige impérativement des mesures de protection. En ce qui concerne l'utilisation de rayonnement UV artificiel, le BfS avait établi une procédure de certification volontaire des solariums dès 2003. Avant la fin 2008, près de 800 solariums se sont soumis à cette procédure selon les critères décidées par la table ronde solariums (*Runder Tisch Solarien* - RTS). Il n'y avait aucune certification en 2009. Ceci est dû d'une part au fait que la procédure de certification exige, depuis la mi-2008, de limiter l'intensité d'irradiation totale de toutes les solariums à 0,3 W/m^2 et d'autre part à l'introduction de nouvelles réglementations : sur l'initiative du BMU et du BfS, la loi relative à la protection contre les rayonnements non ionisants (*Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nicht-ionisierender Strahlung* NiSG) est entré en vigueur en août 2009. Il est désormais interdit aux opérateurs de solariums de permettre aux mineurs l'utilisation des bancs solaires. La loi est également la base légale d'un règlement relatif aux solariums. Ce règlement suit les critères de la procédure de certification volontaire et se trouve actuellement dans le stade de concertation politique.

TEIL A
ALLGEMEINE ANGABEN

(GENERAL INFORMATION)

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

HISTORISCHE UND GESETZLICHE GRUNDLAGEN DER ÜBERWACHUNG

(HISTORICAL AND LEGAL BASIS OF SURVEILLANCE)

Die Auswirkungen der von 1945 bis 1980 durchgeführten oberirdischen Kernwaffentests sowie der großtechnische Einsatz der Kernenergie seit den 60er und 70er Jahren machten die Konzeption zweier Kontrollsysteme zur Umwelt- bzw. Umgebungsüberwachung notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland sind durch das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) die Zuständigkeiten, Überwachungssysteme und Messprogramme für die Kontrolle der Radioaktivität in der Umwelt und durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und das Atomgesetz (AtG) in der Umgebung kerntechnischer Anlagen geregelt.

Überwachung der Umwelt

Die Freisetzung radioaktiver Stoffe durch die oberirdischen Kernwaffenversuche ab 1945 lieferte einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung mit der Folge, dass schon in den 50er Jahren von der Bundesrepublik Deutschland Messsysteme zur Umweltüberwachung aufgebaut wurden:

- 1955 wurde der Deutsche Wetterdienst (DWD) gesetzlich verpflichtet, die Atmosphäre auf „radioaktive Beimengungen“ und deren Ausbreitung zu überwachen.
- Mit Artikel 35 des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) vom 25. März 1957 wurden die Mitgliedstaaten verpflichtet, die notwendigen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes von Luft, Wasser und Boden sowie zur Überwachung der Einhaltung der Strahlenschutz-Grundnormen zu schaffen. Artikel 36 des EURATOM-Vertrages verpflichtet zur regelmäßigen Berichterstattung über die aktuelle Umweltradioaktivität.
- 1960 wurden in Vereinbarungen zwischen dem zuständigen Bundesressort (Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft) und den Ländern die Grundzüge der Überwachungsmaßnahmen festgelegt, die im Wesentlichen noch heute gültig sind. Die Verpflichtungen aus Artikel 35 und 36 des EURATOM-Vertrages werden mittels der amtlichen Radioaktivitätsmessstellen des Bundes und der Länder erfüllt. Die Pflicht zur jährlichen Übermittlung der gemessenen Daten an die Europäische Kommission wird durch das BfS wahrgenommen.

Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986 war Anlass, die Zuständigkeiten für die Umweltüberwachung neu zu regeln und das rechtliche Instrumentarium zur Schadensbegrenzung zu ergänzen. Ziel des daraufhin verabschiedeten Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) vom 19. Dezember 1986 ist es, zum Schutz der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen und im Falle von Ereignissen mit möglichen radiologischen Auswirkungen die radioaktive Kontamination in der Umwelt und die Strahlenexposition des Menschen durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten.

Die §§ 2 und 3 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes grenzen die Aufgabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Dem Bund ist gemäß § 2 die großräumige Überwachung der Medien Luft und Wasser sowie die Ermittlung der Gamma-Ortsdosisleistung zugewiesen. Die Überwachung der anderen Umweltmedien wird in Bundesauftragsverwaltung nach § 3 StrVG von den Messstellen der Länder wahrgenommen.

Auf dieser gesetzlichen Grundlage wurde in den nachfolgenden Jahren das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) geschaffen, in dem die nach den §§ 2 und 3 StrVG ermittelten Daten bundeseinheitlich zusammengeführt werden.

1988 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ein Routinemessprogramm zur Entnahme und Messung von Umweltproben zwischen den Bundes- und Länderbehörden abgestimmt und in den Folgejahren umgesetzt. Das Programm enthält verbindliche Vorgaben für die Durchführung der routinemäßigen Überwachungsmaßnahmen durch die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder und stellt ein bundeseinheitliches Vorgehen sicher.

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMU zwischen den Bundes- und Landesbehörden ein Intensivmessprogramm abgestimmt, das im Falle erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt an die Stelle des Routinemessprogramms tritt. Auf der Grundlage der §§ 2 und 3 StrVG werden hierin umfangreichere Aktivitätsmessungen in kürzeren zeitlichen Abständen vorgeschrieben, mit denen schnell die radiologische Lage erfasst und eventuell erforderliche Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition durch die jeweils zuständigen Bundes- bzw. Landesministerien empfohlen werden können.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung zusätzlich die Aufgabe der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder umgesetzt. Die Messaufgaben sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von 1993 festgesetzt.

Überwachung der Umgebung bei bergbaulichen und anderen Tätigkeiten in den neuen Bundesländern

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714 (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793) nur unwesentlich.

Tabelle 1 Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrVG bzw. REI (Leitstellen)
(Overview of the federal administrative authorities for the monitoring of environmental and ambient radioactivity in accordance with StrVG and REI)

Deutscher Wetterdienst, Zentralamt Offenbach am Main	Messung von Luft und Niederschlag, Ausbreitungsprognose, Spurenanalyse
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig	Spurenanalyse, Bereitstellung von Aktivitätsnormalen
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz	Bundeswasserstraßen, oberirdische Gewässer Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg	Nord- und Ostsee einschließlich Küstengewässer Meerwasser, Schwebstoff und Sediment
Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Fischereiökologie, Hamburg	Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasserpflanzen, Plankton
Max-Rubner-Institut, Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Kiel	Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft
Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter	
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt	Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm und Abfälle Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt
	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe
	Fortluftüberwachung kerntechnischer Anlagen
	Gamma-Ortsdosisleistung, Spurenanalyse, Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag
	Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen

1. Natürliche Umweltradioaktivität
(Natural environmental radioactivity)

Natürliche Radionuklide in der Umwelt

Natürliche Radionuklide sind Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man zwischen den Radionukliden, die mit der Erdmaterie entstanden sind (primordiale Radionuklide) und denen, die durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre ständig gebildet werden (kosmogene Radionuklide).

Die primordialen Radionuklide haben Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Ein Teil der primordialen Radionuklide wandelt sich unmittelbar in stabile Elemente um. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist K-40, es kommt zu 0,0118% als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Zu dieser Gruppe gehören noch mehr als 10 Radionuklide, z. B. Rb-87, die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

Andere primordiale Radionuklide wandeln sich zunächst in Nuklide um, die wiederum radioaktiv sind, ehe am Ende dieser radioaktiven Zerfallsreihen stabile Elemente entstehen. Die für den Strahlenschutz wichtigen Radionuklide stammen aus diesen Zerfallsreihen:
- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von U-238 mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Uran-Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von U-235 mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Th-232 mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

In jeder der Zerfallsreihen entsteht aus einem Radionuklid des Elementes Radium ein Nuklid des Edelgases Radon. In der Uran-Radium-Zerfallsreihe entsteht aus Ra-226 das Rn-222 (HWZ 3,8 Tage), in der Thorium-Zerfallsreihe aus Ra-224) das Rn-220 (HWZ 55,6 Sekunden) und in der Uran-Actinium-Zerfallsreihe aus dem Ra-223 das Rn-219 (HWZ 3,96 Sekunden). Für den Strahlenschutz ist das Rn-222 von besonderer Bedeutung, in einigen Fällen muss auch das Rn-220 (oftmals auch „Thoron“ genannt) mit beachtet werden. Ohne Bedeutung ist dagegen das Rn-219.

Zur Gruppe der kosmogenen Radionuklide gehören u. a. H-3 (HWZ 12,3 Jahre), Be-7 (HWZ 53,3 Tage), C-14 (HWZ 5.730 Jahre) und Na-22 (HWZ 2,6 Jahre).

Natürliche Radionuklide im Boden

Der Gehalt natürlicher Radionuklide in Böden hängt häufig direkt von dem Gehalt der natürlichen Radionuklide im Ursprungsgestein ab. Da in kieselsäurereichen Magmagesteinen der Gehalt an primordialen Radionukliden gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagesteine auch höhere Werte dieser Nuklide. In solchen Gebieten liegen die Werte für Ra-226 in einem Bereich bis zu 200 Bq/kg. Dazu gehören die Bergbaugebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt, aber auch Gebiete im Bayrischen Wald und im Schwarzwald. Vor allem im norddeutschen Raum ist die spezifische Aktivität der Böden geringer. Für das gesamte Bundesgebiet wurde als mittlerer Ra-226-Gehalt der Böden der Wert von 30 Bq/kg abgeschätzt.

In Gesteinen befinden sich die Radionuklide der Zerfallsreihen in der Regel im radioaktiven Gleichgewicht. In den Böden kann dieses Gleichgewicht aus verschiedenen Gründen, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide, gestört sein.

Natürliche Radionuklide im Wasser

Oberflächenwässer (einschließlich Meereswässer), Grund-, Quell- und insbesondere Trinkwässer wurden im Rahmen verschiedener Umweltüberwachungsprogramme und Forschungsvorhaben auf natürliche Radionuklide untersucht. Für die Strahlenexposition sind vor allem die Radionuklidkonzentrationen in den Grundwässern und den daraus gewonnenen Trinkwässern von Bedeutung. Untersuchungen an diesen Wässern zeigten, dass sich die Radionuklide der Zerfallsreihen meist nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden; im gleichen Wasser liegen somit unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide einer Zerfallsreihe vor. Dies ist auf die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der einzelnen Radionuklide zurückzuführen, die deshalb in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten der Wasservorkommen unterschiedliche Mobilitäten im aquatischen System aufweisen. Die gegenüber U-238 überwiegend höheren U-234-Konzentrationen beruhen auf Rückstoßprozessen infolge des Alpha-Zerfalles von Uran-238 in den Gesteinspartikeln des Grundwasserleiters im Bereich der Phasengrenze fest/flüssig und der daraus resultierenden stärkeren Auslaugung von U-234 aus den Gesteinspartikeln.

In den Trinkwässern Deutschlands liegen die Medianwerte für U-238 und U-234 bei 2,6 mBq/l bzw. 4,4 mBq/l mit Wertebereichen von < 0,7 bis 350 mBq/l bzw. < 1 bis 580 mBq/l. Für Ra-226 und Ra-228 betragen die Medianwerte 6,3 mBq/l bzw. 5,6 mBq/l, wobei Maximalwerte von bis zu 350 bzw. 75 mBq/l auftreten.

Aus den Messungen der Rn-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergibt sich ein Median von 5,9 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l, der Maximalwert beträgt 1500 Bq/l.

Natürliche Radionuklide in der bodennahen Atmosphäre

In der bodennahen Luft befinden sich vor allem die für die Strahlenexposition wichtigen Isotope des Edelgases Radon und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran-Radium- und Thorium-Zerfallsreihe sind bei den natür-

licherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung für die Strahlenexposition sind auch die kosmogenen Radionuklide.

Die Konzentrationen von Rn-222 und Rn-220 in der Luft sind abhängig von der Exhalationsrate des Untergrundes, von meteorologischen und orographischen Bedingungen sowie von der Höhe über dem Erdboden.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 im Freien im Bereich von 5 - 30 Bq/m^3. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tälern), können auch höhere Konzentrationen auftreten. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m^3.

Die Konzentrationen von Rn-220 sind niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m^3 geschätzt.

Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im Kapitel 2.2 näher eingegangen.

Natürliche Radionuklide in der Nahrung

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und dem Metabolismus der Radionuklide ab. Das mit der Nahrung aufgenommene Kalium führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 60 Bq K-40 pro Kilogramm Körpergewicht. Aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe tragen vor allem das Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 30 Bq bzw. 58 Bq (UNSCEAR 2000 [1]) zur Strahlenexposition bei. Von den Nukliden aus der Thorium-Zerfallsreihe ist das Ra-228 zu beachten. In [1] wird dafür eine jährliche Zufuhr von 15 Bq angegeben.

Natürliche Strahlenexposition

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der äußeren Strahlenexposition terrestrischen und kosmischen Ursprungs und der inneren Strahlenexposition durch die Aufnahme radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

Äußere Strahlenexposition

Ein wesentlicher Beitrag zur äußeren Strahlenexposition wird durch die terrestrische Komponente der Gamma-Strahlung verursacht, die auf den Gehalt der Böden an Radionukliden der Thorium- und der Uran-Radium-Reihe sowie an K-40 zurückzuführen ist.

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung im Freien auf nicht versiegelten Flächen 57 nSv/h bestimmt (Photonenäquivalentdosisleistung). Höhere Werte der terrestrischen Gamma-Ortsdosisleistung, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind wiederum die bereits genannten Bergbaugebiete und Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

In den urbanen Gebieten wird die Gamma-Ortsdosisleistung durch den Aktivitätsgehalt der zum Straßen- und Häuserbau verwendeten Materialien bestimmt. Ein Zusammenhang mit der terrestrischen Gamma-Ortsdosisleistung in der unmittelbaren Umgebung besteht in der Regel nicht.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition vorwiegend durch den Aktivitätsgehalt der verwendeten Baustoffe und nur zu einem geringen Teil durch die Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt. Bei einem Wertebereich von 20 - 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h (Photonenäquivalentdosisleistung).

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte jährliche effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 mSv, davon entfallen auf den Aufenthalt im Freien ca. 0,1 mSv und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,3 mSv.

Zur externen Strahlenexposition trägt auch die kosmische Strahlung bei. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine Äquivalentdosisleistung von 32 nSv/h verursacht. Sie nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1.500 m Höhenzunahme). Die Äquivalentdosisleistung der Neutronenkomponente beträgt demgegenüber nur 3,6 nSv/h. Sie steigt schneller mit zunehmender Höhe an.

Insgesamt ergibt sich für die kosmische Strahlenexposition in Meereshöhe in Deutschland eine jährliche effektive Dosis von ca. 0,3 mSv.

Innere Strahlenexposition

Wesentlich zur inneren Strahlenexposition tragen die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Rn-222 und des Rn-220 (wenn auch in vergleichsweise geingerem Maß) bei, die meist an Aerosole angelagert beim Einatmen im Atemtrakt abgeschieden werden und dort Alpha-Strahlung emittieren. Die Edelgase Rn-222 und Rn-220 selbst verursachen nur eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Der wesentlichste Teil der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch die kurzlebigen Rn-222-Zerfallsprodukte.

Unter durchschnittlichen Bedingungen wird dadurch eine jährliche effektive Dosis von 1,1 mSv verursacht. Davon resultieren etwa 0,9 mSv aus dem Aufenthalt in Gebäuden und 0,2 mSv aus dem Aufenthalt im Freien. Allerdings muss

auf die große Variationsbreite, vor allem der Konzentrationen von Rn-222 - und damit der kurzlebigen Folgeprodukte - in Gebäuden, hingewiesen werden.

Die jährliche effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 0,005 mSv und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch K-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt. Der durchschnittliche K-40-Gehalt im Körper beträgt 4.000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln deutlich. Folglich ist auch die Radionuklidzufuhr regional sehr unterschiedlich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird im Ergebnis einer landesweiten Untersuchung der Gesamtnahrung / [KT 69 (2004) 5-6, S. 248-252; BfS-JB 2004 - Thema 11] / und in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 [1] abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,26 mSv ergibt.

Gesamte natürliche Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. Hinzu kommt die externe Strahlenexpostion mit 0,7 mSv. Davon entfallen 0,3 mSv auf die kosmische und 0,4 mSv auf die terrestrische Komponente. Insgesamt ergibt sich daraus in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Rn-222, liegt die jährliche effektive Dosis für die durchschnittlichen Verhältnisse in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR-Report 2008, Vol. 1 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein Wert von 2,4 mSv angegeben [1].

Literatur

[1] United Nations: Sources, Effects and Risks of Ionising Radiation. UNSCEAR 1982, 1988, 1993, 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York 1982, 1988, 1993, 2000, 2006, 2008

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität *(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)*

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie *(Relics and residues of mining and industry)*

Mineralische Rohstoffe und Kohlen können Uran- und Thoriumgehalte aufweisen, die über denen liegen, die in oberflächennahen Gesteinen und Böden vorkommen. Bei der Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung dieser Stoffe wird die natürliche Radioaktivität oft in den Rückständen angereichert. So sind über Jahrhunderte im Bergbau und in der Industrie zahlreiche Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität entstanden, die in großen Mengen in der Umwelt abgelagert wurden. Aspekte des Umwelt- und Strahlenschutzes wurden dabei meist nicht beachtet.

Aus diesen Ablagerungen, wie Halden und Absetzbecken, können die natürlichen Radionuklide in die Umweltmedien freigesetzt werden und in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zu erhöhten Strahlenexpositionen der Bevölkerung führen. Auch andere Hinterlassenschaften (z. B. Schächte, Stollen sowie ehemalige Betriebsflächen) können Ursache einer erhöhten Strahlenexposition der Bevölkerung sein.

Infolge der geologischen Situation in Deutschland liegt der Schwerpunkt der aus der Sicht des Strahlenschutzes zu berücksichtigenden Hinterlassenschaften in den Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, wo sowohl der historische Bergbau (Silber, Kupfer, Zinn u. a. Nichteisenmetalle) als auch der Uranbergbau betrieben wurde und zu zahlreichen Halden, Schächten und anderen Hinterlassenschaften geführt hat.

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Viele der Hinterlassenschaften der Uranproduktion, die nach Ende des 2. Weltkrieges in Sachsen und Thüringen begann, befanden sich zum Zeitpunkt der Wiederherstellung der deutschen Einheit in der Zuständigkeit der SDAG Wismut. Ende 1990 wurde die Uranproduktion auch aus Gründen des Umwelt- und des Strahlenschutzes eingestellt. Mit der Verwahrung und Sanierung der Hinterlassenschaften wurde die Wismut GmbH beauftragt, die eigens zu diesem Zweck gegründet wurde und deren alleiniger Gesellschafter die Bundesregierung ist. Die Wismut GmbH hat ihren Sitz in Chemnitz und hat folgende Niederlassungen:

- Aue mit den Standorten Schlema – Alberoda und Pöhla,
- Königstein mit den Standorten Königstein und Gittersee in Sachsen und
- Ronneburg, zu der die Standorte Ronneburg und Seelingstätt (Thüringen) sowie Crossen (Sachsen) gehören.

Die untertägigen Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten sind bereits weitgehend abgeschlossen. Derzeit wird die Flutung der Grubenfelder in Schlema / Alberoda und im ostsächsischen Bergbaugebiet bei Königstein fortgesetzt. Die Wasserbehandlung der austretenden Grubenwässer wird in den nächsten Jahrzehnten aber weiterhin notwendig sein.

Schwerpunkt der übertägigen Arbeiten ist die Sanierung von Halden und Absetzanlagen, wobei die Gestaltung der Landschaft um Ronneburg im Rahmen der Bundesgartenschau 2007 beispielhaft die Rekultivierung und Einbindung der ehemaligen Bergbauflächen in die Landschaft dokumentiert. Die Verwahrung der ehemaligen Absetzanlagen der Erzaufbereitung (Konturierung, Endabdeckung und Behandlung der Sickerwässer) schreitet kontinuierlich voran.

Bei den Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft[1] und mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenden jährlichen Ableitungsmengen als auch einzuhaltende Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser sowie die Überwachung der Konzentration dieser radioaktiven Stoffe in den Umweltmedien Luft, Boden, Lebens- und Futtermittel, Wasser und Sedimente erfolgt seit 1997 nach den Vorgaben der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau). Die Kontrolle der Emissions- und Immissionsüberwachung des Sanierungsunternehmens, der Wismut GmbH, wird von unabhängigen Messstellen vorgenommen, die von den zuständigen Landesbehörden beauftragt werden.

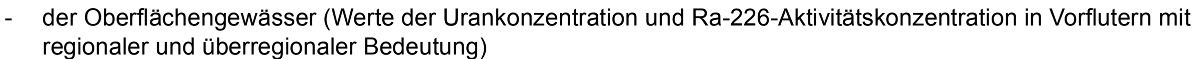
In Teil B - I - 2.1 werden die Werte der jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser (Genehmigungswerte und Werte der Ableitungen) angegeben und vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklung diskutiert.



Um einen Überblick über die Immissionssituation in den betroffenen Regionen zu geben, werden darüber hinaus auch Daten von Messstellen zur Überwachung



- der Luft (Werte der Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre) und



- der Oberflächengewässer (Werte der Urankonzentration und Ra-226-Aktivitätskonzentration in Vorflutern mit regionaler und überregionaler Bedeutung)

angegeben und bewertet. Die Bewertung dieser Daten orientiert sich jeweils am geogen bedingten Konzentrationsniveau der natürlichen Radioaktivität und berücksichtigt ebenfalls den langjährigen Trend.

Über die Emissions- und Immissionsüberwachung hinaus führt die Wismut GmbH ein umfangreiches Monitoring durch, das an den jeweiligen Stand der Sanierungsarbeiten angepasst wird. Aufgaben dieses Monitorings sind sowohl die Überwachung der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft als auch die Überwachung geotechnischer, bergschadenskundlicher und seismischer Besonderheiten in den betroffenen Regionen.

Hinterlassenschaften des historischen Bergbaus in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Als einigungsbedingte Sonderaufgabe beauftragte die Bundesregierung das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durch das StrVG mit den erforderlichen Untersuchungen, um die radiologische Situation in den betroffenen Regionen insgesamt zu klären. In den Jahren 1991 – 1999 wurde das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten - Altlastenkataster“ durchgeführt [1]. Im Ergebnis dieses Projektes zeigte sich, dass in diesen Ländern infolge des Bergbaus insgesamt etwa 130 Mio. m^3 Haldenmaterial, etwa 20 Mio. m^3 Schlacken und etwa 30 Mio. m^3 Aufbereitungsrückstände abgelagert wurden, die Ursache erhöhter Strahlenexpositionen sein können und deshalb für den Strahlenschutz relevant sind („radiologisch relevante“ Hinterlassenschaften).

Die im Projekt erhobenen Daten und Informationen zu den bergbaulichen Hinterlassenschaften stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Landesbehörden als Grundlage für die nur fall- und standortbezogen zu treffende Entscheidung über Nutzungsmöglichkeiten oder Sanierungsnotwendigkeit zur Verfügung.

Hinterlassenschaften aus der Industrie

Im Ergebnis der intensiven industriellen Entwicklung, die sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Deutschland vollzog, entstand eine Vielzahl von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, für die keine Verwendungsmöglichkeiten bestanden und die auf kostengünstigste Weise durch Deponierung in der Umwelt beseitigt wurden. Gesichtspunkte des Umweltschutzes, des Grundwasserschutzes, aber auch des Strahlenschutzes waren nicht bekannt oder/und wurden nicht berücksichtigt. Es entstanden Deponien mit ganz unterschiedlichen Ausmaßen, in denen diese Rückstände teilweise mit anderen Materialien (z. B. Hausmüll) vermischt wurden.

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es zurzeit nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriegeschichtlichen Recherchen aufbaut. Danach wird das Gesamtvolumen der in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung abgelagerten Rückstände von sechs Industriebereichen dominiert und kann eine Größenordnung von 100 Mio. m^3 erreichen. Da nur wenige Standorte mit Ablagerungen solcher Rückstände bekannt und ausreichend untersucht sind, sind kaum zuverlässige Aussagen über deren radiologische Bedeutung möglich. Die folgende Tabelle 2.2-1 gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

[1] Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

Tabelle 2.1-1 Abschätzung der Menge von industriellen Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität
(Estimation of the amount of industrial relics with increased natural radioactivity)

Industriebereich / Prozess	Art der Rückstände				
	Schlämme	**Schlacken**	**Scales** [1]	**Flugaschen**	**Gips**
Primärförderung von Rohöl und Erdgas	-	-	500 – 12.000 m^3	-	-
Verarbeitung von Rohphosphat zur Herstellung von Phosphorsäure und Düngemitteln	-	-	-	-	4 – 25 Mio. m^3
Roheisenmetallurgie einschließlich Rauchgasreinigung	2 – 3 Mio. m^3	2 – 3 Mio. m^3	-	-	-
Aufbereitung von Bauxit zur Aluminiumgewinnung (Bayer-Verfahren)	14 – 35 Mio. m^3	-	-	-	-
Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von Steinkohle	-	-	-	2 – 20 Mio. m^3	-
Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser (Eisen- und Manganfällung)	2 – 7 Mio. m^3	-	12.000 – 25.000 m^3	-	-
Summe	**18 – 45 Mio. m^3**	**2 – 3 Mio. m^3**	**12.500 – 37.000 m^3**	**2 – 20 Mio. m^3**	**4 – 25 Mio. m^3**
Gesamt	**ca. 25 – 100 Mio. m^3**				

[1]Reinigungsschlämme und Ablagerungen an Pumpen, Rohren und Filtern

Aktuelle Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die mineralische Rohstoffe oder Kohle verarbeiten, können Rückstände anfallen, die Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Konzentrationen enthalten, die über denen in oberflächennahen Gesteinen und Böden liegen. Häufig reichern sich die Radionuklide prozessbedingt in bestimmten Rückständen (z. B. Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Eisen- und Nichteisenmetallurgie) oder in technischen Geräten und Einrichtungen (z. B. Verkrustungen der Rohre und Pumpen in der Erdgas- und Erdölförderung) besonders an. Da solche Rückstände entweder in andere Wirtschaftsprozesse gelangen (z. B. Verwertung von Schlacken und Aschen im Haus- und Straßenbau) oder beseitigt werden (z. B. Verbringung auf Deponien), können sich erhöhte Strahlenexpositionen der allgemeinen Bevölkerung oder der mit der Verwertung bzw. Beseitigung befassten Arbeitnehmer ergeben. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Rückstände, den Verwertungs- und Beseitigungsprozessen und den Standortgegebenheiten können diese Strahlenexpositionen in der Größenordnung der mittleren natürlichen Strahlenexposition und auch deutlich darüber liegen. Die Rückstände und die von ihnen ausgehenden Strahlenexpositionen müssen daher im Hinblick auf den vorsorgenden Gesundheitsschutz im System des Strahlenschutzes eine angemesse Berücksichtigung finden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden erstmals mit der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 weitreichende und detaillierte strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität gestellt (StrlSchV Teil 3 Kapitel 3). Grundsätzlicher Maßstab der Regelungen ist die Einhaltung eines Richtwerts für den Bevölkerungsschutz in Höhe von 1 mSv/a. Die Regelungen stehen im Einklang mit den diesbezüglichen europäischen Vorgaben in der Richtlinie 96/29/EURATOM zu den Grundnormen im Strahlenschutz und setzen diese in deutsches Recht um. Sie gelten bisher ausschließlich für im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung angefallene Rückstände. Mit der aktuellen Novelle der Strahlenschutzverordnung sollen zukünftig auch aus dem Ausland bezogene Rückstände unter die Regelungen fallen.

Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität sowie deren Verbleib werden grundsätzlich durch die zuständigen Landesbehörden, denen der Vollzug obliegt, erfasst.

Im Auftrag des BfS wurden in den letzten Jahren Schätzungen der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden Rückstandsmengen durchgeführt. Tabelle 2.1-2 gibt hierzu eine Übersicht.

Tabelle 2.1-2 Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g)
(Estimation of the annual amount of industrial residues with enhanced natural radioactivity, > 0.2 Bq/g)

Zuordnung der Rückstände gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	Masse [t/a]
Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 60
Anlagenteile mit Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 400
Schlämme aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	50 – 250
Rückstände aus der Aufbereitung von Phosphorgipsen	100
Rotschlämme aus der Bauxitverarbeitung	600.000
Rückstände aus der Tantal-Produktion	unbekannt
Pyrochlorschlacken	30
Sinterstäube aus der Roheisenmetallurgie	5000
Hochofenschlämme aus der Roheisenmetallurgie	30.000
Stäube aus der Nichteisen-Primärmetallurgie	30.000
Sonstige uran- und thoriumhaltige Rückstände	100

Insbesondere bei der Förderung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas können Rückstände mit vergleichsweise hohen Konzentrationen an natürlichen Radionukliden anfallen. Es handelt sich um Inkrustierungen in Aggregaten und Rohrleitungen, die sich über lange Betriebszeiträume absetzen und die die im geförderten Ergas bzw. Erdöl mitgeführte Radioaktivität aufnehmen. Die Rückstände werden - ggf. nach Gewinnung noch enthaltener Wertstoffe (z. B. Quecksilber) - beseitigt, d. h. deponiert. Hierfür wird geprüft, ob die in der Strahlenschutzverordnung für den betreffenden Beseitigungsweg (z. B. Deponierung unter Tage) angegebenen Überwachungsgrenzen (spezifische Aktivität in Bq/g) und sonstigen Anforderungen eingehalten sind. Ist dies der Fall, können die Rückstände ohne weitere Strahlenschutzmaßnahmen beseitigt werden. Der vorgeschriebene Dosisrichtwert wird dann eingehalten. Allerdings liegen die spezifischen Aktivitäten bei Rückständen aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung meist erheblich über den Überwachungsgrenzen. Sie können einige 10 bis mehrere 100 Bq/g (Ra-226, Ra-228), in Ausnahmefällen sogar um 1.000 Bq/g betragen. Soweit jedoch der Inhaber der Rückstände für den vorgesehenen Beseitigungsweg nachweisen kann, dass der Richtwert für die Bevölkerungsexposition in Höhe von 1 mSv/a eingehalten wird und hierfür keine fortgesetzten Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich sind, entlässt die zuständige Strahlenschutzbehörde auf Antrag die Rückstände aus der Strahlenschutzüberwachung. Ist die Entlassung aus der Überwachung nicht möglich, verbleiben die Rückstände im Regime des Strahlenschutzes. Die zuständige Landesbehörde kann in diesen Fällen anordnen, wie die Rückstände zu beseitigen sind und welche Schutzmaßnahmen Anwendung finden müssen.

Zum Beispiel wurden im Bereich des Schrottrecyclings Metallteile aufgefunden, die Ablagerungen natürlicher Radionuklide aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung aufwiesen. Diese Rückstände, die überwiegend ausländischen Schrottlieferern zuzuordnen waren, wurden sichergestellt und sachgerecht beseitigt bzw. ins Ausland zurückgeführt.

Rückstände der Erdgas- und Erdölindustrie sind in der Bundesrepublik Deutschland insbesondere in Schleswig-Holstein (Betrieb einer Nordsee-Ölplattform; kesselsteinartige, feste Ablagerungen in den Förderrohren sowie Schlämme infolge der Trennung von Öl und Wasser) und in Niedersachsen (Nutzung von Erdgasvorkommen; Ablagerungen in den Förderrohren) von Bedeutung. Zudem findet im Freistaat Sachsen eine kommerzielle Gewinnung von Quecksilber aus solchen Rückständen statt.

Literatur

[1] Ettenhuber E, Gehrcke K, 2001: „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten“, Abschlussbericht, BfS-SCHR-22/2001

2.2 Radon in Gebäuden
(Radon in buildings)

Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft im Freien und in Gebäuden aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (dabei handelt es sich um die radioaktiven Schwermetalle Po-218, Bi-214, Pb-214, Po-214, Pb-210 und Po-210) im Atemtrakt angelagert. Die dort beim radioaktiven Zerfall auftretende Strahlung führt zu einer Exposition, die in Deutschland zu einer mittleren effektiven Dosis von insgesamt 1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) führt. Davon werden der Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden 0,9 mSv/a zugerechnet. Andere Organe werden durch Radon und seine Zerfallsprodukte nach derzeitiger Kenntnis weitaus weniger belastet.

In einer Reihe internationaler Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf der Grundlage zusammenfassender Auswertungen dieser Studien in Europa und Nordamerika kommt die deutsche Strahlenschutzkommission [1] zu folgender Bewertung:

- Es zeigt sich ein klarer Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration,

- dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar,
- eine signifikante Risikoerhöhung wurde ab einem Konzentrationsintervall von 100 – 199 Bq/m^3 festgestellt,
- es wird von einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgegangen.

Die Radonkonzentration in Gebäuden variiert in Deutschland in einem breiten Bereich. Der bundesweite Jahresmittelwert in Wohnräumen beträgt ungefähr 50 Bq/m^3 Raumluft. Während die Mehrzahl der Messwerte unter diesem Wert liegt, kommen auch Häuser mit einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter vor.

Regionale Unterschiede der Radonkonzentration in Gebäuden werden vor allem durch das Radonangebot des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Struktur des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von bergmännischen Auffahrungen und Rissbildungen im Deckgebirge das Radonangebot aus dem Untergrund erhöht werden. Wenn am Baukörper Undichtigkeiten infolge von Senkungen des Baugrundes entstehen, muss zusätzlich noch mit einem höheren Radoneintritt in die betroffenen Gebäude gerechnet werden.

Generell sollte die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen möglichst niedrig sein. Diesem Bestreben sind jedoch im Allgemeinen praktische Grenzen dadurch gesetzt, dass der Beitrag des in der Außenluft vorkommenden Radons zur Innenraumkonzentration und die Radonfreisetzungen aus den Baumaterialien der bestehenden Häuser kaum beeinflussbar sind. Die Summe beider Komponenten liefert für Aufenthaltsräume einen Anteil, der üblicherweise nicht über 100 Bq pro Kubikmeter Innenraumluft liegt. Höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden werden in Deutschland vor allem durch das in der Bodenluft des Baugrundes vorhandene und in das Gebäude eindringende Radon bestimmt. Bei einem Neubau kann mit vertretbaren Mitteln erreicht werden, dass Konzentrationen in Aufenthaltsräumen den Zielwert von 100 Bq/m^3 nicht überschreiten. Dies gilt auch in der Mehrzahl der Fälle bei bestehenden Häusern. Unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit ist aus dem Spektrum der verfügbaren Maßnahmen die für den Einzelfall geeignete auszuwählen.

Sowohl die bisher in über 60.000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es große Gebiete gibt, in denen auf Grund der geologischen Verhältnisse keine erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden vorkommen und in denen deshalb keine besonderen Maßnahmen gegen den Eintritt von Bodenradon erforderlich sind.

Aktuelle Daten zu Radon in Gebäuden sind in Teil B - I - 2.2 dargestellt.



Literatur

[1] „Lungenkrebsrisiko durch Radonexposition in Wohnungen“, verabschiedet auf der 199. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 2005
In: D. Gumprecht und H. Heller (Hrsg): Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2005. Veröffentlichung der Strahlenschutzkommisstion, Band 59, Bonn, 2007

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten
(Radioactive substances in building materials and industrial products)

Zur vollständigen Bewertung der Strahlenexposition, die in Gebäuden auftreten kann, werden seit mehr als 25 Jahren in Deutschland Untersuchungen über den Gehalt natürlicher Radionuklide in Baumaterialien und industriellen Rückständen durchgeführt. Es wurden die spezifischen Aktivitäten des Ra-226, Th-232 und K-40 in mehr als 1.500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten bestimmt.

Wie die Tabelle 2.3-1 zeigt, variiert die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmagesteine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Von den natürlichen Radionukliden in Baumaterialien geht im Wesentlichen eine äußere Exposition durch Gammastrahlung und eine innere Strahlenexposition durch Inhalation von in die Raumluft freigesetztem Radon und den daraus entstehenden Zerfallsprodukten aus.

In Deutschland wird zunehmend die Verwendbarkeit von Rückständen in der Baustoffindustrie untersucht.

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [1] die Rückstände genannt, bei deren Verwendung oder Deponierung Gesichtspunkte des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv/a nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß EU-Richtlinie über Bauprodukte [2] darf in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Diese Richtlinie wird mit dem Bauproduktengesetz [3] umgesetzt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [4] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt.

Tabelle 2.3-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten
(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)	Thorium-232 Mittelwert (Bereich)	Kalium-40 Mittelwert (Bereich)
	Spezifische Aktivität in Bq/kg Trockenmasse		
Baustoffe natürlichen Ursprungs			
Granit	100 (30 - 500)	120 (17 - 311)	1.000 (600 - 4.000)
Granodiorit	56 (40 - 73)	44 (37 - 104)	850 (380 - 990)
Syenit	30	31	670
Dolerit	20 (10 - 29)	30 (8 - 44)	290 (22 - 380)
Gneis	75 (50 - 157)	43 (22 - 50)	900 (830 - 1.500)
Diabas	16 (10 - 25)	8 (4 - 12)	170 (100 - 210)
Basalt	26 (6 - 36)	29 (9 - 37)	270 (190 - 380)
Granulit	10 (4 - 16)	6 (2 - 11)	360 (9 - 730)
Grauwacke	41 (26 - 51)	35 (13 - 46)	760 (700 - 780)
Phonolit	56	104	1.270
Amphibolit	8	9 (8 - 9)	260 (180 - 310)
Serpentinit	3	7	180
Quarzporphyr	54 (15 - 86)	77 (53 - 98)	1.300 (1.000 - 2.100)
Porphyrtuff	47 (44 - 52)	206 (130 - 240)	720 (22 - 1.700)
Orthophyr	17	22	1300
Lamprophyr	17 (6 - 30)	12 (7 - 21)	270 (130 - 330)
Augitporphyrit	55 (46 - 61)	67 (57 - 79)	1.100 (1.000 - 1.300)
Hornblendeschiefer	13	14	380
Frucht-/Phycodenschiefer	38 (34 - 45)	59 (56 - 73)	780 (760 - 930)
Oolit	19	31	580
Augit	65	51	970
Kalkstein/Marmor	24 (4 - 41)	5 (2 - 20)	90 (< 40 - 240)
Travertin	4	19	20
Sandstein, Quarzit	20 (13 - 70)	25 (15 - 70)	500 (< 40 - 1.100)
Kies, Sand, Kiessand	15 (1 - 39)	16 (1 - 64)	380 (3 - 1.200)
Gips, Anhydrit	10 (2 - 70)	7 (1 - 100)	70 (6 - 380)
Flintstein	6	1	1
Kaolin	90 (30 - 200)	100 (70 - 200)	600 (200 - 1.000)
Lava	42 (20 - 70)	42 (25 - 60)	720 (490 - 890)
Tuff, Bims	100 (<20 - 200)	100 (30 - 300)	1.000 (500 - 2.000)
Ton, Lehm	40 (<20 - 90)	60 (18 - 200)	1.000 (300 - 2.000)
Finalbaustoffe, Bindemittel			
Ziegel/Klinker	50 (10 - 200)	52 (12 - 200)	700 (100 - 2.000)
Beton	30 (7 - 92)	23 (4 - 71)	450 (50 - 1.300)
Kalksandstein, Porenbeton	15 (6 - 80)	10 (1 - 60)	200 (40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30 (<20 - 90)	30 (< 20 - 80)	1100 (700 - 1.600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:			
Bims	80 (20 - 200)	90 (30 - 300)	900 (500 - 2.000)
Blähton, Blähschiefer	30 (< 20 - 80)	30 (< 20 - 60)	400 (40 - 700)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spezifische Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1.000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwolle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1.000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämmkreide	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdenschmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1.100	(1.000 - 1.200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		-		-	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1.000	(980 - 1.100)	286	(260 - 310)	-	
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1.000)
Bergbauabraum	700	(36 - 5.900)	70	(27 - 100)	700	(40 - 1.200)
Aufbereitungsrückstände (Nichturanindustrie)	170	(9 - 310)	84	(3 - 250)	130	(1 - 280)
Braunkohlenfilterasche (Ostdeutschland)	82	(4 - 200)	51	(6 - 150)	147	(12 - 610)
Flugasche (nicht spezifiziert)	200	(26 - 1110)	100	(14 - 300)	700	(170 - 1450)
Chemiegips aus:						
Apatit	60	(40 - 70)	< 20		-	
Phosphorit	550	(300 - 1.100)	20	(< 4 - 160)	110	(< 40 - 300)
Rauchgasentschwefelung	8	(3 - 70)	6	(4 - 20)	50	(< 20 - 80)
Flussspat	35		8		280	
Schwerspat	180		17		350	
Feldspat	60	(40 - 100)	100	(70 - 200)	3000	(2.000 - 4.000)
Bauxit (Ungarn)	170		100		< 20	
Bauxit (Zaire)	240		120		< 30	

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spezifische Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
Bauxit (Guayana)	33		170		66	
Bauxit (Rotschlamm)	200	(< 20 - 800)	400	(50 - 1.000)	400	(< 20 - 1.000)
Eisenerz (Brasilien)	22		4		-	
Eisenerz (Indien)	21		2		27	
Rohphosphat (nicht spezifiziert)	1.000	(100 - 2.000)	40	(< 20 - 100)	500	(< 40 - 900)
Apatit (GUS)	30		60		100	
Phosphorit (GUS)	390		25		230	
Phosphat (Marokko)	1800		26		-	
Phosphat (GUS - Kola)	59		64		-	
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	120.000		11.000		-	
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14.000		3.900		-	
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1.000)	2.000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36.000		84.000		-	
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5.200	
Blähton und Blähschiefer	40	(< 20 - 70)	70	(30 - 90)	600	(70 - 800)
Hüttenbims	170	(110 - 230)	43	(24 - 62)	190	(180 - 190)
Porensinter	37		51		690	
Düngemittel (nicht spezifiziert)	400	(< 20 - 1.000)	20	(< 20 - 30)	4.000	(< 40 - 8.000)
Superphosphate						
(Deutschland)	375	(230 - 520)	30	(15 - 44)	96	(52 - 140)
(USA)	785	(780 - 790)	34	(20 - 48)	-	
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5.900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)	-	
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
NPK-Dünger						
(Deutschland)	270		15		5.200	
(GUS)	9		54		1.200	
(Belgien)	210		< 15		5.900	
Koks	30	(20 - 30)	< 20		70	(40 - 80)
Steinkohle	32	(5 - 150)	21	(5 - 63)	225	(7 - 700)
Braunkohle	10	(< 1 - 51)	8	(< 1 - 58)	22	(< 4 - 220)
Bitumen, Teer	< 20		< 20		110	(37 - 260)

Literatur

[1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)

[2] Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts - und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte, zuletzt geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG vom 22. Juli 1993 (L 220 vom 30. August 1993)

[3] Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106 EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz - BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. I S. 149)

[4] Europäische Kommission, Mandat M/366 EN concerning the execution of the standardisation work for the development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive, Brüssel, 16. März 2005

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Johann Heinrich von Thünen-Institut und vom Max-Rubner-Institut

1. Quellen künstlicher Radioaktivität
(Sources of artificial radioactivity)

1.1 Kernwaffenversuche
(Nuclear weapons tests)



Die Umweltradioaktivität bedingt durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Sr-90 und Cs-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Tabelle 1.1-1 und Abbildung 1.1-1 geben einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2006.

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung aufgelegt. Er verbietet nukleare Versuchsexplosionen und soll die Weiterentwicklung und Verbreitung dieser Waffen verhindern. Die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) baut zurzeit mit Hilfe der Signaturstaaten ein weltweites Überwachungssystem mit einem Netz von 321 Messstationen (Internationales Messnetz, IMS) auf. Es ist in der Lage, eine nukleare Explosion von einer Kilotonne TNT-Äquivalent an jedem Ort der Erde mit hoher Wahrscheinlichkeit zu entdecken, zu identifizieren und auch zu lokalisieren. Dieses System beinhaltet 170 seismographische Stationen, 11 Hydroakustik- und 60 Infraschallstationen sowie 80 Spurenmessstationen für Radioaktivität in Luft. Das Radioaktivitätsmessnetz wird ergänzt durch 16 Radionuklidlaboratorien, deren wichtigsten Aufgaben die Qualitätssicherung und die unabhängige Nachmessung von Proben bei außergewöhnlichen Messergebnissen der Radionuklidstationen sind. Das BfS ist im Auftrag des Auswärtigen Amtes für die Radionuklidmesstechnik und Bewertung von Radionukliddaten der CTBTO auf nationaler Ebene zuständig. Es ist für den Betrieb der deutschen Radionuklidstation auf dem Schauinsland bei Freiburg verantwortlich und in Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation an der Weiterentwicklung der Messtechnik und Optimierung des Verifikationssystems beteiligt.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der Station Schauinsland des BfS (Radionuklidstation 33, RN 33) in der Nähe von Freiburg. Dort sind seit 2003 automatische Messsysteme mit hoher Empfindlichkeit sowohl für den Nachweis von schwebstoffgebundener Radioaktivität als auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Der Probenentnahmezeitraum dieser kontinuierlichen Überwachungssysteme beträgt jeweils 24 Stunden. Die Daten beider Messsysteme der Radionuklidstation werden über Satellitenverbindung alle 2 Stunden an das internationale Datenzentrum der Vertragsorganisation in Wien geschickt. Das Messsystem für den Nachweis der aerosolpartikelgebundenen Radioaktivität (RASA) wurde im Dezember 2004 von der CTBTO zertifiziert und ist seitdem offizieller Bestandteil des IMS. Das Edelgasmesssystem SPALAX wurde im Rahmen eines von der CTBTO organisierten internationalen Tests von automatischen Edelgasmesssystemen installiert und befindet sich seitdem im Testbetrieb.

Ein Kernwaffentest wurde am 09.10.2006 von Nordkorea durchgeführt. Über 20 der seismischen Stationen des IMS haben das Ereignis mit einer geschätzten Sprengkraft von etwas weniger als 1 kT TNT-Äquivalent registriert. Das Radionuklidmessnetz des IMS war zu dieser Zeit in der Region noch nicht in Betrieb, Messungen von Xe-133 an einer Radionuklidstation in Yellowknife (Kanada) weisen jedoch darauf hin, dass das registrierte Ereignis tatsächlich ein Kernwaffentest war. Dies wird auch durch Messungen von Xenonisotopen im ostasistischem Raum von schwedischen und US-amerikanischen Messteams bestätigt.

Tabelle 1.1-1 Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2008 a)
(Number of nuclear weapons tests* in the years 1945 - 2008*)

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		UdSSR		Groß-britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nord-korea
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)	c)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	11	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	14	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		UdSSR		Groß-britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nord-korea
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)	c)
1956	17	-	9	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	23	5	16	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	52	14	34	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	3	-	-	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-	-	-
1970	-	60	-	21	-	-	8	-	1	-	-	-	-
1971	-	28	-	29	-	-	5	-	1	-	-	-	-
1972	-	32	-	31	-	-	3	-	2	-	-	-	-
1973	-	27	-	22	-	-	5	-	1	-	-	-	-
1974	-	25	-	27	-	1	7	-	1	-	1	-	-
1975	-	23	-	35	-	-	-	2	-	1	-	-	-
1976	-	20	-	27	-	1	-	5	3	1	-	-	-
1977	-	23	-	36	-	-	-	9	1	-	-	-	-
1978	-	20	-	55	-	2	-	11	2	-	-	-	-
1979	-	15	-	52	-	1	-	10	-	-	-	-	-
1980	-	14	-	43	-	3	-	12	1	-	-	-	-
1981	-	16	-	37	-	1	-	12	-	-	-	-	-
1982	-	18	-	34	-	1	-	10	-	1	-	-	-
1983	-	19	-	37	-	1	-	9	-	2	-	-	-
1984	-	18	-	52	-	2	-	8	-	2	-	-	-
1985	-	17	-	10	-	1	-	8	-	-	-	-	-
1986	-	14	-	0	-	1	-	8	-	-	-	-	-
1987	-	16	-	39	-	1	-	8	-	1	-	-	-
1988	-	18	-	29	-	-	-	8	-	1	-	-	-
1989	-	15	-	11	-	1	-	9	-	-	-	-	-
1990	-	10	-	8	-	1	-	6	-	2	-	-	-
1991	-	9	-	-	-	1	-	6	-	-	-	-	-
1992	-	8	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		UdSSR		Groß-britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nord-korea
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)	c)
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6	1

a) Die Zahl der Kernwaffenversuche kann bei Verwendung unterschiedlicher Informationsquellen differieren
b) in der Atmosphäre
c) unterirdisch

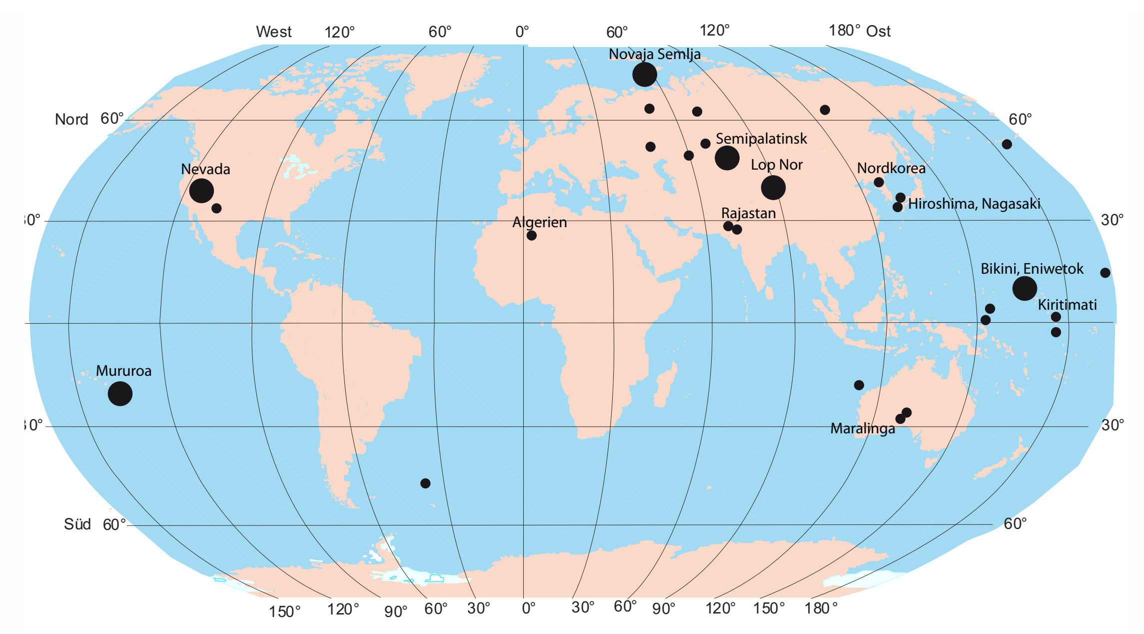


Abbildung 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall
(Chernobyl - radiation exposure from the accident)

Seit der Jahrtausendwende trägt nur noch Cs-137 mit 30 Jahren Halbwertszeit nennenswert zur Strahlenexpostion bei. Dieser Beitrag von gut 10 µSv/a ist hauptsächlich auf die Bodenstrahlung zurück zu führen. Der Beitrag zur inneren Strahlenbelastung ist dagegen mit weniger als 1 µSv/a gering. Bei einer mittleren Bodenbelastung von z.B. 3.000 Bq/m^2 beträgt die Strahlenexpostion durch Bodenstrahlung im Freien etwa 10 µSv, in Gebäuden etwa 2 µSv pro Jahr. Dem liegt ein Abschirmfaktor in Gebäuden von 0,15 zu Grunde. Bei einer Aufenthaltsdauer von täglich 5 Stunden in Freien ergibt sich daraus eine durchschnittliche Strahlenbelastung von 5 µSv/a (zum Vergleich: 1986 ca. 70 µSv, siehe Tabelle 1.2-1). In Gebieten, die eine höhere Ablagerung aufweisen, z. B. in hoch kontaminierten Gebieten im Bayerischen Wald, kann die Jahresdosis bei einer Bodenbelegung von 70.000 Bq/m^2 [1] nach wie vor 90 µSv erreichen. Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil A - I - 1) beträgt im Vergleich dazu im Mittel 400 µSv pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis, die schon seit einigen Jahren unter 15 µSv liegt. Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90% durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren um etwa 2,3% pro Jahr zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 2.100 µSv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering (siehe Tabelle Seite 11).

Tabelle 1.2-1 Mittlere effektive Dosis durch den Reaktorunfall in Tschernobyl für Erwachsene in Deutschland
(Mean effective dose to adults in Germany from the Chernobyl accident)

Jahr	externe Strahlenexposition (mSv/a)	interne Strahlenexposition (mSv/a)	gesamte Strahlenexposition (mSv/a)
1986	ca. 0,07[a]	ca. 0,04[b]	ca. 0,11
1987	ca. 0,03	ca. 0,04[c]	ca. 0,07
1988	ca. 0,025	ca. 0,015[d]	ca. 0,04
1989	ca. 0,02	ca. 0,01	ca. 0,03
1990	ca. 0,02	< 0,01	ca. 0,025
1991-1993	< 0,02	< 0,01	ca. 0,02[e]
1994	< 0,02	< 0,01	< 0,02
1995-1999	< 0,015	< 0,001	< 0,02
ab 2000	< 0,012	< 0,001	< 0,015

a. Im Münchener Raum um etwa den Faktor 4, im Berchtesgadener Raum und anderen hoch belasteten Gebieten um etwa den Faktor 10 höher; dies gilt in etwa auch für die folgenden Jahre
b. In Bayern um etwa den Faktor 4, in Südbayern um etwa den Faktor 6 höher
c. In Bayern um etwa den Faktor 3, in Südbayern um etwa den Faktor 6 höher
d. Die regionalen Unterschiede sind nicht mehr so stark ausgeprägt wie in den Vorjahren
e. Die mittlere effektive Dosis wird ab 1991 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des deponierten Cs-137 verursacht

Literatur

[1] Fielitz U: „Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes“, In: BMU, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2005-675 www.bmu.de/files/strahlenschutz/schriftenreihe_reaktorsicherheit_strahlenschutz/application/pdf/schriftenreihe_rs675.pdf

1.3 Kerntechnischen Anlagen - Allgemeine Angaben
(Nuclear facilities - general data)

Der aktuelle Bestand kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland ist in Teil B - II -1.3 dargestellt. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe ist in § 47 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen sind hier jeweils Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen bedingte Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 300 µSv über Luft bzw. Wasser, für die Schilddrüsendosis 900 µSv pro Jahr.



Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Höchstwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser festgelegt. In einem radioökologischen Gutachten ist dabei nachzuweisen, dass auch bei voller Ausschöpfung dieser Genehmigungswerte die Dosisgrenzwerte nach § 47 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus besteht nach § 6 StrlSchV die Verpflichtung, jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Die Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen sind nach § 48 StrlSchV zu überwachen und nach Art und Aktivität spezifiziert der zuständigen Aufsichtsbehörde mindestens jährlich mitzuteilen. Die Anforderungen der Emissions- und Immissionsüberwachung sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) aufgeführt. Ziel dieser Richtlinie ist es, eine Beurteilung der aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Kernkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind gemäß den sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb) und 1504 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser) durchzuführen. Die Überwachung der Emissionen der Forschungsreaktoren erfolgt gemäß der KTA-Regel 1507 (Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren).

Die Messprogramme gliedern sich in die Teile „Überwachungs- und Bilanzierungsmessungen des Betreibers“ und „Kontrolle der Bilanzierungsmessungen des Betreibers durch einen unabhängigen Sachverständigen“. Dabei hat der Betreiber einer kerntechnischen Anlage sämtliche Ableitungen von Radionukliden zu erfassen und zu bilanzieren, um eine Grundlage für die Beurteilung der Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage zu schaffen. Die von den Betreibern vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich eingeschalteter Sachverständiger

(Landesmessstellen, Bundesamt für Strahlenschutz) entsprechend der Richtlinie zur „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft. Betreiber und Sachverständige sind gehalten, zur internen Kontrolle der Messqualität an vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt durchgeführten Ringvergleichen teilzunehmen.

Die Überwachung der Emissionen wird ergänzt durch die Überwachung der Immissionen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Auch bei der Umgebungsüberwachung ist ein Messprogramm vom Betreiber der Anlage und ein ergänzendes und kontrollierendes Programm von unabhängigen Messstellen durchzuführen. Diese Überwachungsprogramme sind für die jeweilige kerntechnische Anlage unter Berücksichtigung örtlicher und anlagenspezifischer Gegebenheiten zu erstellen. Für die Beurteilung der Immissionsverhältnisse in der Umgebung von Kernkraftwerken sind die für die Ausbreitung radioaktiver Stoffe bedeutsamen meteorologischen Einflussgrößen gemäß der KTA-Regel 1508 (Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre) zu messen und zu registrieren. Die Ergebnisse der Immissionsüberwachung dienen der Beweissicherung, der Beurteilung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie zur Beurteilung von Störfallauswirkungen.

Über diese Überwachungsprogramme hinaus verfügten die atomrechtlichen Aufsichtsbehörden mit der Kernreaktor-Fernüberwachung über Systeme zur laufenden Kontrolle sicherheitsrelevanter Betriebs-, Emissions- und Immissionsdaten, um sich von der Einhaltung der den Strahlenschutz betreffenden rechtlichen Verpflichtungen der Betreiber zu überzeugen.

Teil B

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse sind in Teil B - II -2.1.5 und 2.2.4 zusammengefasst.

Seit dem Berichtsjahr 2007 werden hier auch die Messwerte aus der Schachtanlage Asse II (Daten der Betreiber) dargestellt. In der Schachtanlage Asse wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Kali- und Steinsalze abgebaut. Von 1965 bis 31.12.2008 betrieb das Helmholtz Zentrum München (vormals GSF) das Bergwerk im Auftrag des Bundesforschungsministeriums nach Bergrecht und nutzte es zur Endlagerung und um die Handhabung von radioaktiven Abfällen in einem Endlager zu erproben. Zwischen 1967 und 1978 wurden etwa 47.000 m^3 radioaktive Abfälle in Asse eingelagert.

Im September 2008 hat das Bundeskabinett entschieden, die Schachtanlage Asse II zukünftig verfahrensrechtlich wie ein Endlager zu behandeln und den Betrieb einschließlich der Stilllegung dem BfS zu übertragen.

Der Betrieb und damit der Übergang der Gesamtverantwortung auf das BfS erfolgt zum 1.1.2009.

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze *(Activity measurements and monitoring networks)*

Die Notwendigkeit zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt ergab sich ursprünglich als Folge der erforderlichen Untersuchungen des radioaktiven Fallout der Kernwaffenversuche in den 50er und 60er Jahren. Zur Umsetzung der Verpflichtungen des Euratomvertrags von 1957 und im Zuge der großtechnischen friedlichen Nutzung der Kernenergie wurde die Überwachung ausgeweitet und zunehmend gesetzlich geregelt, zusätzlich wurde ab 1990 - nach der Wiedervereinigung – die Überwachung der bergbaulichen Altlasten in den neuen Bundesländer integriert.

Nach Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren und dem großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung in Deutschland in den 60er Jahren wurde zusätzlich zur Überwachung der Umweltradioaktivität die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen bezüglich Emissionen und Immissionen von Radionukliden erforderlich. Die einzelnen Messaufgaben für die Betreiber und die behördlichen Messstellen sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) festgesetzt. Diese, im Jahr 1993 verabschiedete Richtlinie, wurde nach der Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 überarbeitet und gilt seit dem 01.01.2006 in der neuen Fassung.

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt erfolgt zum Schutz der Bevölkerung und soll eine Beurteilung ermöglichen, in welchem Maße der Mensch und die Umwelt ionisierender Strahlung durch Kontaminationen ausgesetzt sind.

Überwachung der Umweltradioaktivität

Gegenstand der in der AVV-IMIS festgelegten Messprogramme zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt sind radioaktive Stoffe künstlichen und natürlichen Ursprungs, die infolge von Tätigkeiten des Menschen in die Umwelt gelangen und so zu einer erhöhten Strahlenexposition führen können. Insbesondere müssen die Programme für die Überwachung der Aktivitätskonzentration bzw. der spezifischen Aktivitäten von Radionukliden in Umweltmedien die langfristigen Auswirkungen von Kernwaffenexplosionen und die großräumigen und globalen Folgen des Betriebes von Anlagen des Kernbrennstoff-Kreislaufes im In- und Ausland berücksichtigen. Die Überwachung dieser Kontaminationen erfolgt großräumig; in Teilbereichen werden auch entsprechende Veränderungen des Pegels der Umweltradioaktivität durch Anwendung von Radioisotopen in Medizin, Forschung und Industrie mit erfasst. Zur Gewinnung von Referenzwerten für die Beurteilung von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen ist die routinemäßige Durchführung der Überwachung der Aktivitätskonzentrationen bwz. der spezifischen Aktivitäten von Radionukliden in Umweltmedien erforderlich. Diese Messaufgabe wird von Verwaltungsbehörden des Bundes und der Länder erfüllt. Diese Messungen decken auch die Anforderungen des engmaschigen Überwachungsnetzes (dense network) der EU

in der „Empfehlung der Kommission zur Anwendung des Artikels 36 Euratom-Vertrag betreffend die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes der Umwelt zur Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung“ [1] ab.

Dabei ist Aufgabe des Bundes die großräumige Ermittlung der Radioaktivität in den Umweltbereichen, in denen sich der Transport radioaktiver Stoffe vollzieht, sowie des daraus resultierenden integralen und nuklidspezifischen Strahlenpegels im Bundesgebiet. Dies erfolgt insbesondere durch die Ermittlung der Radioaktivität in Luft und Niederschlag, auf dem Boden, in den Bundeswasserstraßen, in Nord- und Ostsee einschließlich der Küstengewässer sowie durch Messung der externen Strahlenbelastung. Zur kontinuierlichen Ermittlung von Aktivitätskonzentrationen in der Luft und im aquatischen Bereich bzw. der Gamma-Ortsdosisleistung werden von den zuständigen Bundesbehörden eigene, automatische Messnetze betrieben, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte eine Frühwarnung absetzen können und eine ständig eingerichtete Rufbereitschaft aktivieren. Somit ist ein frühzeitiges und schnelles Erkennen des Eintrags von künstlicher Radioaktivität in die Umwelt möglich. In Ergänzung zu den Messungen, die der Erhebung der Referenzwerte dienen, werden im Bereich Luft Messungen im Rahmen der Spurenanalyse durchgeführt. Diese Messungen mit Hilfe empfindlichster Methoden dienen der Ermittlung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Luft, um kurz- und langfristige Änderungen auf niedrigstem Aktivitätsniveau verfolgen zu können.

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität

- in Lebensmitteln,
- in Futtermitteln,
- in Trinkwasser, Grundwasser und in oberirdischen Gewässern (außer Bundeswasserstraßen),
- in Abwässern, im Klärschlamm, in Abfällen,
- in und auf dem Boden sowie
- in Pflanzen.

Die Probennahmen erfolgen in regelmäßigen Zeitabständen an festgelegten Orten, die möglichst repräsentativ für einen größeren Bereich sind.

Zur Erfüllung der Anforderungen des „weitmaschigen Überwachungsnetzes“ (sparse network) der EU [1] ist ein ergänzendes Messprogramm ausgewiesen. Dazu wird Deutschland für die Probenentnahme in vier geographischen Regionen (Nord, Mitte, Süd und Ost) eingeteilt. Das „weitmaschige Überwachungsnetz“ soll für jede Region und für jedes Probenmedium zumindest eine für diese Region repräsentative Messstelle oder Probenentnahmestelle umfassen. An diesen Orten sollen hoch empfindliche Messungen durchgeführt werden, die ein klares Bild über die tatsächlichen Niveaus und Trends der Aktivitätswerte vermitteln. Die zu untersuchenden Umweltmedien sind Luft (Aerosolpartikel) und Gammaortsdosisleistung, Oberflächenwasser, Trinkwasser, Milch und Gesamtnahrung.

Die Emissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der REI dient der Erfassung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen und einer Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten. Die Emissionsüberwachung wird durch Messungen der Immissionsüberwachung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ergänzt. Die Messungen im Rahmen der Emissions- und Immissionsüberwachung werden vom Genehmigungsinhaber durchgeführt; zusätzlich erfolgen als Kontrolle Messungen durch unabhängige Messstellen.

Nach § 48 Abs. 1 StrlSchV ist u. a. dafür zu sorgen, dass die Ableitung radioaktiver Stoffe überwacht und nach Art und Aktivität spezifiziert wird (Emissionsüberwachung). Zu diesem Zweck werden die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser erfasst. Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition in der Umgebung des Emittenten ermittelt. Die Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Spezifikation nach Art und Aktivität ist Grundlage für die Beurteilung der Einhaltung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben. Die Emissionsüberwachung muss sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb (§ 47 Abs.1 StrlSchV) als auch für den Störfall/Unfall eine Beurteilung erlauben, ob die Dosisgrenzwerte oder Eingreifrichtwerte der Strahlenschutzvorsorge und des Katastrophenschutzes überschritten werden. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Messwerten zur Abschätzung radiologischer Auswirkungen werden auch hier automatisch arbeitende Messeinrichtungen eingesetzt.

Ergänzend zu den Messungen zur Überwachung der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen werden Messungen in der Umgebung durchgeführt (Immissionsüberwachung). Sie dienen als zusätzliche Kontrolle der Einhaltung von Dosisgrenzwerten und damit indirekt auch der Ableitungen. Die hierzu erforderlichen Nachweisgrenzen für Dosisleistungsmessungen und Radionuklidbestimmungen sind abhängig von den Dosisbeiträgen durch äußere und innere Bestrahlung zur Gesamtdosis festzulegen. Bei der Immissionsüberwachung werden die Umweltmedien Luft, Niederschlag, Boden, Bewuchs, Milch, Oberflächenwasser der Binnengewässer, Fische, Wasserpflanzen, Grund- und Trinkwasser und pflanzliche Nahrungsmittel beprobt und gemessen.

Messungen im bestimmungsgemäßen Betrieb sollen langfristige Veränderungen infolge von betrieblichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser an den Stellen aufzeigen, die für die verschiedenen Expositionspfade relevant sind. Daher werden primär die radioaktiven Stoffe in den Transportmedien Luft und Wasser regelmäßig erfasst. Darüber hinaus werden Untersuchungen in den Ernährungsketten und in einzelnen Bereichen der Umwelt an Stellen, an denen sich langfristig bevorzugt radioaktive Stoffe ansammeln können (z. B. im Sediment von Gewässern), sowie an Referenzorten (z. B. außerhalb des Nahbereichs von Anlagen) durchgeführt. Die zu überwachenden Nahrungsmittel pflanzlicher oder tierischer Herkunft sollen für die Umgebung des Standortes typisch sein und einen wesentlichen Beitrag zu der gesamten Ingestionsdosis erwarten lassen.

In den Transportmedien Luft und Wasser sind die Gamma-Ortsdosis und die Gamma-Ortsdosisleistung zu messen; ferner sind Messungen von gasförmigen Stoffen (z. B. elementares Radiojod) und von Aerosolen zur Bestimmung der Ra-

dioaktivitätskonzentration in Luft sowie der Radioaktivität im Niederschlag durchzuführen. Weiterhin werden Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser überwacht, wobei die Überwachung des Oberflächenwassers in der Regel durch die Bestimmung der Radioaktivität im Sediment, in Wasserpflanzen und in Fisch ergänzt wird.

Die Probenentnahme- und Messorte sind anlagenspezifisch. Sie befinden sich bevorzugt dort, wo auf Grund der Verteilung der emittierten radioaktiven Stoffe in der Umwelt durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel ein maßgeblicher Dosisbeitrag zu erwarten ist. Zum Vergleich werden Probenentnahme- und Messorte berücksichtigt, an denen keine Beeinflussung der Messwerte durch den Betrieb der Anlage zu erwarten ist (Referenzorte).

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

Die **Nachweisgrenze** ist ein auf der Basis statistischer Verfahren festgelegter Kennwert zur Beurteilung der Nachweismöglichkeit eines Messverfahrens. Der Wert der Nachweisgrenze gibt an, welcher kleinste Beitrag einer Größe bei dem gewählten Messverfahren bei vorgegebener Fehlerwahrscheinlichkeit noch nachgewiesen werden kann.

In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Nachweisgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), der mit einem vorgegebenen Richtwert (bisweilen als geforderte Nachweisgrenze bezeichnet) verglichen wird, um zu entscheiden, ob ein Messverfahren für einen bestimmten Messzweck geeignet ist.

Die Nachweisgrenze einer Größe ist somit ein Charakteristikum des Messverfahrens für diese Größe, einschließlich der Messeinrichtung. Sie hängt von verschiedenen Parametern des Messverfahrens ab. Dazu gehören das Ansprechvermögen des Detektors, die räumliche Anordnung von Messpräparat und Detektor (Messgeometrie), die Messdauer, die Strahlungsart und das Vorgehen, wie z. B. Menge oder Anteil der Probe im Messpräparat. Sie ist auch abhängig von den Unsicherheiten anderer einzelner Beiträge, wie etwa dem Volumen bei der Aktivitätskonzentration, zum Wert der Messgröße.

Berechnet wird die Nachweisgrenze mit Methoden der Statistik als der kleinste Wert der Messgröße, für den bei Anwendung einer vorgegebenen Entscheidungsregel die Wahrscheinlichkeit dafür, irrtümlich anzunehmen, es läge kein Beitrag des Messpräparates auf das Messergebnis vor, höchstens β beträgt (Fehler 2. Art). Dieser kleinste Wert der Messgröße kann somit mit dem gewählten Messverfahren mit einer statistischen Sicherheit von $1-\beta$ nachgewiesen werden [2].

Die **geforderte Nachweisgrenze** einer Messgröße, wie sie im gesetzlichen und untergesetzlichem Regelwerk vorgeschrieben ist, gibt den zulässigen Höchstwert der Nachweisgrenze der relevanten Messgröße bei dem verwendeten Verfahren an. Die wirkliche Nachweisgrenze bei dem verwendeten Verfahren ist meist wesentlich kleiner als die gesetzlich geforderte Nachweisgrenze. Letztere wird in vielen Fällen von vorgegebenen Grenz- bzw. Richtwerten anderer Größen, z. B. des Grenzwertes der Dosisleistung, der Dosis oder einer Aktivitätskonzentration, abgeleitet.

Die geforderten Nachweisgrenzen sind abhängig vom Überwachungsziel des jeweiligen Messprogramms. So sind z. B. für die Erfassung von Referenzwerten im Rahmen der Umweltüberwachung niedrigere Nachweisgrenzen erforderlich als zur Kontrolle von Eingreifrichtwerten bei einem möglichen Ereignisfall. Darüber hinaus sind die Nachweisgrenzen innerhalb einzelner Messprogramme abhängig vom untersuchten Umweltmedium bzw. der Probenmatrix und der Strahlungsart des nachzuweisenden Radionuklids.

Literatur

[1] Empfehlung der Kommission vom 08. Juni 2000 zur Anwendung des Artikels 36 Euratom-Vertrag betreffend die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes der Umwelt zur Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung, Amtsblatt Nr. L 191 vom 27.07.2000, S.0037- 0040

[2] Glossar der Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung; ISSN 1865-8725, www.bmu.de/42042

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung
(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) sind mit der Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre gesetzlich beauftragt.

Die Bundesmessnetze des BfS und des DWD mit dessen radiochemischem Zentrallabor in Offenbach sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) in Deutschland. Das IMIS wird vom BfS im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fachlich und technisch betreut. Gemäß AVV-IMIS werden dort im Normalbetrieb täglich Messergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität geprüft bzw. die auf Plausibilität geprüften Messergebnisse aus den Messnetzen des BfS und des DWD bereitgestellt. Diese werden im Internet allen Bürgern und Bürgerinnen zugänglich gemacht (http://www.bfs.de/ion/imis).

Zur kontinuierlichen Überwachung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) betreibt das BfS ein automatisches Messnetz mit ca. 1.870 Messstellen. Zusätzlich wird an der Messstation Schauinsland kontinuierlich die Aktivitätskonzentration natürlicher Alpha-Strahler, künstlicher Beta-Strahler und gasförmiger radioaktiver Jodisotope in der bodennahen Luft

überwacht (ABI-Station, **A**lpha-**B**eta-**I**od). Die Station ist Teil des ABI-Messnetzes, welches zum 01.01.2008 vom BfS in die Zuständigkeit des DWD übertragen wurde. Weiterhin verfügt das BfS über 6 Messfahrzeuge, die mit Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet sind. Diese werden zur nuklidspezifischen Bestimmung der Beiträge der Bodenaktivität (natürlichen und insbesondere künstlichen Ursprungs) zur Gamma-Ortsdosisleistung an den Messstellen (Sondenstandorte) des ODL-Messnetzes eingesetzt. Im Ereignisfall dienen sie zur schnellen Ermittlung der Aktivität frisch auf dem Boden deponierter Radionuklide.

Das Radioaktivitätsmessnetz des DWD umfasst 41 Messorte. Dort werden nuklidspezifisch messende Gamma-Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der partikelgebundenen Radionuklide und Messgeräte zur Erfassung der Aktivitätskonzentrationen partikelgebundener künstlicher Alpha- und der Beta-Strahler sowie Probeentnahmesysteme für gasförmiges Jod, Aerosolpartikel und Niederschlag betrieben. Von den 11 Messstellen des ABI-Messnetzes, die im Jahr 2008 vom BfS an den DWD übertragen wurden, werden in den Jahren 2009 und 2010 vier außer Betrieb genommen, da sie sich räumlich zu nahe an bereits vorhandenen Stationen befinden. Die restlichen 7 Luftmonitore werden technisch den Systemen der 41 vorhandenen Radioaktivitätsmessstellen des DWD angepasst. Zur Bestimmung der nuklidspezifischen Deposition sind 39 Stationen dieses Messnetzes mit stationären Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet. An 20 dieser Messstationen werden gamma-spektrometrisch die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jods, der partikelgebundenen Radionuklide und der Radionuklide im Niederschlag ermittelt. Im Bedarfsfall stehen Niederschlagsproben von 7 weiteren Messorten zur Verfügung.

Detaillierte Angaben zu den in Deutschland betriebenen Messnetzen und Messdaten finden sich im Internet unter www.bfs.de/ion/imis bzw. www.dwd.de/de/WundK/Umweltinformationen/index.htm.

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischer Aktivitäten und die Beobachtung von Langzeittrends in der Umweltradioaktivität sind Ziele der Spurenanalyse. Derartige Untersuchungen in der bodennahen Luft und im Niederschlag werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt durchgeführt. Hierzu werden die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der bodennahen Luft und im Niederschlag mittels Alpha-Spektrometrie, Gamma-Spektrometrie und integraler Messung der Beta-Aktivität bestimmt, wobei den Messungen teilweise aufwändige radiochemische Trennverfahren vorangehen. Die erhobenen Daten werden nicht nur in IMIS verwendet, sondern auch im Rahmen der europaweiten Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt für die EU-Berichterstattung bereitgestellt.

Gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) werden in der bodennahen Luft in der Umgebung von Kernkraftwerken die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und schwebstoffgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch bestimmt. Darüber hinaus erfolgt die kontinuierliche Erfassung der Gamma-Ortsdosisleistung, die durch Messungen der γ-Ortsdosis mit integrierenden Dosimetern ergänzt wird. Für Brennelementfabriken, Zwischen- und Endlager ist im bestimmungsgemäßen Betrieb neben der Überwachung der γ-Ortsdosis die Überwachung der Aktivitätskonzentration von Alphastrahlern (integral bzw. nuklidspezifisch) in der bodennahen Luft und im Niederschlag vorgesehen. Zusätzlich wird die Neutronenstrahlung in der Umgebung erfasst. Bei der Umgebungsüberwachung von Endlagern wird, abhängig von den mittleren integralen Aktivitätskonzentrationen im Fortluftstrom, ggf. eine gammaspektrometrische Bestimmung der Aktivitätskonzentration schwebstoffgebundener Radionuklide durchgeführt.

Die Emissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der REI dient der Erfassung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen und einer Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser sowie in den Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar.

Die bilanzierten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden in verschiedene Nuklidgruppen zusammengefasst. Dies sind die Gruppen radioaktive Edelgase, Schwebstoffe (Halbwertszeit > 8 Tage), I-131, C-14 (C-14-Dioxid-Anteil) und H-3. Auf Grund der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Radionuklide zur Strahlendosis ist die Kenntnis der Nuklidzusammensetzung innerhalb der einzelnen Gruppen erforderlich. Hierzu werden Einzelnuklidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie die Alphastrahler Pu-238, -239 und -240, Am-241 und Cm-242 und Cm-244.

Die Messungen im Rahmen der Emissions- und Immissionsüberwachung werden vom Genehmigungsinhaber durchgeführt; zusätzlich erfolgen als Kontrolle Messungen durch unabhängige Messstellen.

Die aktuellen Messdaten der γ-Ortsdosisleistung sowie die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind in Teil B - II - 2.1 zusammengestellt. Ebenfalls werden dort die aktuellen Daten bzgl. der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft kerntechnischer Anlagen berichtet.



2.2 Meerwasser und Binnengewässer
(Seawater and inland water)

Meerwasser

Die Kontamination von Nord- und Ostsee durch künstliche Radionuklide unterscheidet sich vom terrestischen Bereich hinsichtlich der Quellen, der langen Transportwege und der besonderen Mechanismen ihres Verhaltens im marinen Milieu.



Grundlage der Bewertung sind jährlich mehrere Überwachungsfahrten mit Forschungsschiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Cs-137 bzw. Cs-134, Sr-90, Tc-99, H-3, Pu-(239+240), Pu-238 und Am-241 untersucht (aktuelle Messergebnisse sind in Teil B - II - 2.2.1 dieses Berichts enthalten). Auf Grund der sehr geringen Konzentrationen im Meerwasser müssen die Radionuklide vor der Messung teils sehr aufwändig aus großvolumigen Proben durch chemische Verfahren von der Matrix abgetrennt, und von begleitenden verhältnismäßig hohen Konzentrationen natürlicher Radionuklide gereinigt werden.

In Nord- und Ostsee können künstliche Radionuklide aus folgenden Quellen nachgewiesen werden:
- Globaler Fallout aus den atmosphärischen Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre,
- Ableitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 und
- Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen wie Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmten die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See die Aktivitätskonzentration künstlicher Radionuklide in der Nordsee. Diese Kontaminationen werden von Meeresströmungen in andere Meeresgebiete verfrachtet und konnten dort auch über Entfernungen von mehreren tausend Kilometern nachgewiesen werden. Entsprechend der langen Transportzeiten sind nur langlebige Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als ein Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre sowie den Einstrom kontaminierten Nordseewassers aus dem Skagerrak und Kattegat durch die Beltsee bestimmt.

Einleitungen aus Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Einrichtungen spielen für das Aktivitätsinventar des Meeres kaum eine Rolle. Sie sind nur in unmittelbarer Umgebung dieser Anlagen nachzuweisen. Dies gilt auch für die bis 1982 durchgeführte Versenkung schwach-radioakiver Abfälle in mehr als 4.000 m Tiefe im Nordostatlantik. Auch die früheren Versenkungen radioaktiver Abfälle durch die ehemalige UdSSR in der Barents- und Karasee, sowie das 1989 gesunkene russische Atom-U-Boot „*Komsomolets*" in etwa 1.700 m Tiefe in der Norwegensee führt zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

Die Einleitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen La Hague und Sellafield lagen in den 70er Jahren um mehrere Größenordnungen höher als in den letzten Jahren. Erhebliche Anstrengungen der Betreiber auf internationalen Druck hin führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen für fast alle Radionuklide extrem stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab und hat heutzutage nahezu die Hintergrundkonzentration des globalen Fallouts im Wasser des Nordatlantiks erreicht.

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Austrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt jedoch auch hier die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab.

Sedimente

Sedimente reichern Stoffe aus der Wassersäule an. Sie sind damit eine wesentliche Senke für den Verbleib der in das Meer eingetragenen Schadstoffe. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich auch radioaktive Stoffe durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen nur langsam reversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule vermindert und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten können die abgelagerten Radionuklide aber auch resuspendiert werden und somit in die Wassersäule zurückgelangen.

Das Sediment vor allem der Irischen See, aber auch in geringerem Maße der kontinentalen Küste, ist durch Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen von La Hague und Sellafield in den siebziger Jahren stark kontaminiert worden. Durch natürliche Vorgänge wie Stürme und Bioturbation, aber auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei werden abgelagerte Radionuklide wieder in die Wasserphase und anschließend wieder in Lösung gebracht. Diesen Vorgang bezeichnet man als Resuspension. Der Eintrag resuspendierter Sedimente der Irischen See in die Nordsee ist seit Ende der 90er Jahre eine deutlich stärkere Quelle für Cs-137 und Transurannuklide als die vergleichbaren Einleitungen der Anlage Sellafield und stellt für Transurannuklide mit Abstand die stärkste Quelle im Weltozean dar.

Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen mehrfach höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass sich Radionuklide eher an feinkörnigen Sedimenten, die in der Ostsee häufiger sind als in der Nordsee, anlagern, zum anderen liegt dies auch darin begründet, dass die geringere Turbulenz im Wasser der Ostsee zur Sedimentation dieser feineren Partikel führt. Auch die höhere Flächendeposition des Tschernobyl-Eintrags auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider (aktuelle Messdaten siehe Teil B - II - 2.2.1).



Binnengewässer

Die deutschen Binnengewässer werden nach den Vorgaben des StrVG großräumig auf radioaktive Stoffe hin überwacht. Zuständig hierfür sind die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) für die Bundeswasserstraßen und die Länder für die übrigen Binnengewässer. Darüber hinaus wird die aquatische Umgebung kerntechnischer Anlagen von den amtlichen Messstellen der Länder speziell nach den Bestimmungen der StrlSchV mit der REI überwacht.

Der radiologische Gütezustand der Gewässer wird von den Radionuklidgehalten in den Kompartimenten Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment geprägt, von denen auch die Wasserflora und -fauna beeinflusst werden. Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst und verfolgt werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Buhnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium (Senke) für radioaktive und andere Kontaminationen in den Gewässern zu betrachten. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten daher besonders angezeigt. Durch Resuspension oder Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwasserereignissen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Gewässerbereiche möglich. Dies kann wiederum über Schwebstoffmessungen verfolgt werden.

Bei den Radionukliden in Binnengewässern handelt es sich zum einen um Radionuklide natürlichen, d. h. kosmogenen und primordialen, Ursprungs: H-3, Be-7, K-40 sowie die Nuklide der Thorium- und Uran-Zerfallsreihen. Zum anderen werden künstliche Radionuklide nachgewiesen: H-3 stammt neben dem natürlichen Anteil aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotope verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-13) wurden hauptsächlich durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl 1986 in die Gewässer eingetragen. In geringem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte Co-58 und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen sowie das vergleichsweise kurzlebige I-131 aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen auf.

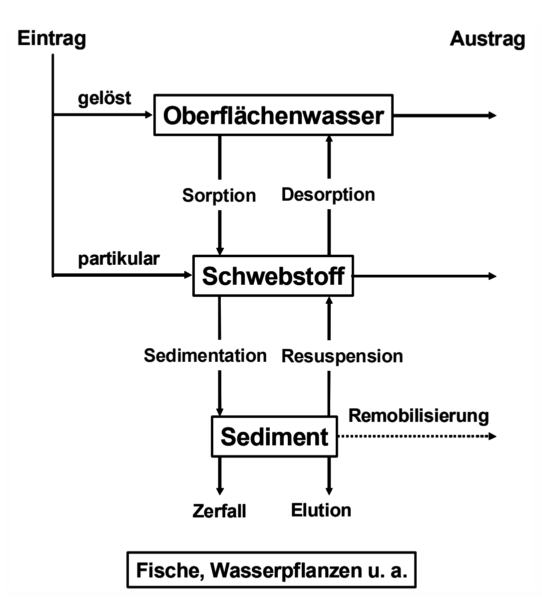


Abbildung 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten radioktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern

(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)



Die natürlichen Radionuklide unterliegen im Allgemeinen keinen kurzfristigen Veränderungen und bedürfen daher nicht der ständigen Überwachung, obwohl diese derzeit den Hauptanteil an der Strahlenexposition durch Radionuklide in der Umwelt beitragen. Im Rahmen der o. g. Überwachungsaufgaben werden daher besonders die künstlichen Radionuklide regelmäßig überwacht, um ihre zeitlichen Veränderungen und ihre möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu verfolgen. Die diesbezüglichen Ergebnisse für die jährliche Berichterstattung sind in Teil B - II - 2.2 dieses Berichts jeweils für Überwachung nach dem StrVG bzw. der REI zusammengefasst und erläutert.

2.3 Böden
(Soils)

Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort gehen auf Probennahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 ist durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.



In Teil B - II - 2.3.1 werden Messwerte von als Weiden oder Wiesen genutzte Böden, von Ackerböden und Waldböden erhoben und dargestellt.

In der Vegetationsperiode werden verschiedene Pflanzenproben gamma-spektrometrisch gemessen. Im Vordergrund stehen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination des pflanzlichen Materials geht leicht zurück, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

Auch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die radioökologische Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall 1986 geprägt. Die aktuellen Messwerte aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind in Teil B - II - 2.3.2 zusammengefasst.

2.4 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser
(Foodstuffs, groundwater, and drinking water)

Grundwasser und Trinkwasser



Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) und der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung, REI) werden von den amtlichen Messstellen der Bundesländer Radionuklidkonzentrationen bestimmt und dem BfS mitgeteilt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B II 2.4.1 (RMP) bzw. Teil B - II - 2.4.2 (REI) beispielhaft für die Radionuklide K-40, Co-60, Cs-137 und H-3 sowie für die Summenparameter Gesamt-Alpha und Gesamt-Beta dargestellt.

Die Überwachung von Grundwasser wird im Rahmen des RMP an ca. 60 Probenentnahmestellen (Wasserwerke und Notbrunnen) und im Rahmen der REI an ca. 150 Probennahmeorten vorgenommen. Untersucht werden im Rahmen der REI vorrangig Grundwässer aus Notbrunnen oder Grundwassermessstellen, die in der Regel nicht für die Trinkwassergewinnung herangezogen werden. Die Auswahl der Probennahmeorte berücksichtigt geologische Gegebenheiten und insbesondere die unterschiedliche Beeinflussung der Grundwässer durch Niederschlag und Oberflächenwasser.

Die Trinkwasserüberwachung wird an Reinwässern sowie an ungeschützten und geschützten Rohwässern aus Wasserwerken vorgenommen. Reinwasser ist das vom Wasserwerk an den Verbraucher abgegebene Trinkwasser, das aus der Reinigung von Rohwasser resultiert. Ungeschütztes Rohwasser ist Oberflächenwasser aus Flüssen, Seen und Talsperren. Geschützte Rohwässer sind Karst- und Kluftgrundwässer einschließlich Stollenwasser, mit aufbereitetem oder nicht aufbereitetem Oberflächenwasser angereichertes Grundwasser und Porengrundwasser. Im Rahmen des Routinemessprogramms werden aus ca. 11 verschiedenen Wasserwerken Trinkwässer untersucht, die durch Aufbereitung ungeschützter und geschützter Rohwässer von jeweils ca. 40 Probennahmeorten entstehen oder als nicht aufbereitete Trinkwässer abgegeben werden. Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) werden zusätzlich jeweils an ca. 20 Probennahmeorten Rein- und Rohwasserproben analysiert.

Die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden ist in Grund- und Trinkwasser wesentlich niedriger als in pflanzlichen Nahrungsmitteln und im Boden. Die Radionuklidkonzentrationen der beiden Gammastrahlung emittierenden Nuklide Co-60 und Cs-137 liegen bei Grund- und Trinkwasser sehr häufig unterhalb der durch das gammaspektrometrische Messverfahren bedingten Nachweisgrenze von ca. 0,003 Bq/l. Andererseits können die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide K-40, Sr-90 und H-3 mit hohem radioanalytischen Aufwand bestimmt werden.

Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) werden von den Messstellen der Bundesländer Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus den Bereichen

der Binnengewässer und der Meere sowie in entsprechender importierter Ware ermittelt. Im marinen Bereich werden diese Messdaten durch Untersuchungen des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) ergänzt.

Die Ergebnisse hieraus werden im Teil B - II - 2.4.5 dargestellt. Dort sind Cs-137-Zeitreihen ab 1986 für Fische aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern grafisch dargestellt, getrennt für Nord-, Süd- und Mitteldeutschland sowie in Tabellen die dazugehörigen statistischen Kennzahlen für das aktuelle Jahr. Ebenso findet man dort die entsprechenden grafischen Darstellungen und Kennzahlen für Fische aus Nord- und Ostsee sowie für Karpfen und Forellen, wobei nicht mehr zwischen Regionen unterschieden wird. Weiterhin werden tabellarisch für das aktuelle Jahr die statistischen Kennzahlen für Cs-137 in Garnelen und Miesmuscheln von der Nordseeküste, sowie in Importproben von Süßwasser- und Meeresfisch, Krusten- und Schalentieren und Fischerzeugnissen dargestellt. In einer weiteren Tabelle finden sich die Ergebnisse für die Auswertung der Sr-9)-Messwerte in Fischen, Krusten- und Schalentieren. Getrennt nach Nord- und Ostsee werden für das aktuelle Jahr die Messergebnisse der Leitstelle an Fischen, Krusten- und Schalentieren, ggf. auch nachgetragene Werte aus vorangegangenen Jahren, in Tabellen gezeigt. Hier sind neben Cs-137 und Sr-90 auch die Ergebnisse von alphaspektrometrischen Bestimmungen von Pu-(239+240), Pu-238 und Am-241 dargestellt.



Die Daten der Aktivitätskonzentrationen in Fischen und Wasserpflanzen, die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (nach REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern erhalten wurden, werden im Kapitel B - II - 2.4.6 dargestellt. Dabei dienen Wasserpflanzen als Indikatoren für im Fließgewässer vorhandene künstliche Radionuklide, die aus Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen stammen. Die für Fische und Wasserpflanzen erhaltenen Daten werden jährlich, nach Fließgewässer, kerntechnischer Anlage und Radionuklid gruppiert, zusammengefasst und die statistischen Daten tabellarisch dargestellt.

Zum besseren Verständnis des zeitlichen Verlaufs von Cs-137 in Süßwasserfischen nach Tschernobyl wurden von der Leitstelle effektive Halbwertszeiten ermittelt, mit denen die Cs-137-Aktivitätskonzentrationen in Fischen aus Flüssen und Seen Deutschlands abnimmt [1]. Bis Anfang der 90er Jahre wurde eine Abnahme mit einer kürzeren effektiven Halbwertszeit T_1, danach eine längere effektive Halbwertszeit T_2 beobachtet, auf ein inzwischen recht niedriges Niveau.

Tabelle 2.4-1 Effektive Halbwertszeiten der Cs-137-Aktivitätskonzentration in Fischen aus Flüssen und Seen
(Effective half-life of Cs-137-activity-concentration in fish from rivers and lakes)

Parameter	Seen	Flüsse
T_1 (Jahre) :	0,78	0,67
T_2 (Jahre) :	8,4	8,0

Die Erklärung der zwischen Seen und Flüssen insgesamt gut übereinstimmenden effektiven Halbwertszeiten muss darin gesehen werden, dass der fortdauernde Eintrag von Tschernobyl-Cäsium aus den Böden der Gewässereinzugsgebiete in die Flüsse und Seen langfristig gesehen maßgeblich das zeitliche Verhalten von Cs-137 in beiden Gewässerarten, damit auch in den Fischen, steuert.

Literatur

[1] Kanisch G 2007: „Effektive Cs-137-Halbwertszeiten in Fischen aus Binnenseen und Fliessgewässern und Cs-137-Sorptionsverhalten in Böden“. Kapitel 12. In: Trugenberger-Schnabel A, Peter J, Kanzliwius R, Bernhard C, Bergler I (Hrsg.). Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 2004 und 2005 - Daten und Bewertung. Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn, ISSN 1864-2810

Lebensmittel

Für Lebensmittel liegen die nach dem Tschernobylunfall deponierten Cs-137-Kontaminationen auf einem sehr niedrigen Niveau. Über die Jahre betrachtet verändern sich die Aktivitätskonzentration nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit ist Cs-134 nicht mehr in Lebensmitteln nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befinden sich ebenfalls die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten, Wildspeisepilze, Wildbeeren und Blütenhonig. Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln. Die Ursache hierfür ist in der höheren Verfügbarkeit des Cs-137 in Waldböden (organisches Material) zu suchen.

Die Milchproben, an denen die Messungen vorgenommen werden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass Mittelwertbildungen sinnvoll erscheinen.

Zusätzliche Messungen der Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt werden, fließen ebenfalls in die Berichterstattung ein.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung werden in diesem Bericht nur in komprimierter Form wiedergegeben. Die aktuellen Daten hierzu finden Sie in Teil B - II - 2.4.7.



Messwerte in Aktivitätskonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln in der Umgeung kerntechnischer Anlagen sind in Teil B - II - 2.4.8 dargestellt.

2.5 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe *(Consumer goods, pharmaceutical products and their constituent materials)*

Die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände ist nach § 11 Abs. 9 Nr. 15 StrVG unter anderem für die Zusammenfassung, Aufbereitung und Dokumentation der Radioaktivitätsmessdaten der genannten Produktgruppen zuständig.

Die Leitstelle überwacht routinemäßig in größerem Umfang vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radionukliden, insbesondere Cs-137. Die untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammen mehrheitlich aus verschiedenen europäischen Ländern.



Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen von Cs-137, K-40 und gegebenenfalls weiterer Radionuklide in den untersuchten pflanzlichen Proben (Arzneimittelpflanzen, Tees) werden jährlich tabellarisch zusammengefasst (siehe Teil B - II - 2.5). Die gemessenen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 weisen je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, erhebliche Variabilitäten auf. Hohe spezifische Aktivitäten werden etwa in Islandmoos aus den vom Tschernobyl-Fallout betroffenen Gebieten Europas gemessen. In der Regel werden in den gammaspektrometrisch untersuchten Pflanzenproben außer Cs-137 keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen, d. h. die Messwerte liegen unterhalb der Erkennungsgrenze.

Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Pflanzenproben, da der Gehalt dieses Elements in der Pflanze geregelt wird.

Bei der Herstellung eines Arzneimittels aus der Pflanze wird der Gehalt an Cs-137 durch die erforderlichen Arbeitsschritte in der Regel reduziert. Die Strahlenexposition, die aus der Anwendung von Arzneimitteln resultiert, ist im Vergleich zu der natürlichen Strahlenexposition (in Deutschland durchschnittlich 2,1 mSv pro Jahr) als sehr gering (<10 µSv/a) einzuschätzen.

Bei konkretem Verdacht werden Bedarfsgegenstände untersucht, die unmittelbar mit dem menschlichen Körper oder mit Lebensmitteln in Kontakt kommen können.

2.6 Abwasser und Klärschlamm *(Waste water and sewage sludge)*

Im Rahmen der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) sind auch kommunale bzw. häusliche Abwässer und die bei der biologischen Abwasserreinigung in Kläranlagen anfallenden Klärschlämme zu untersuchen. Beide Umweltmedien sind im aquatischen Bereich neben Oberflächengewässern sowie Grund- und Trinkwässern von Bedeutung, da zwischen ihnen intensive Wechselwirkungen bestehen. Beispielsweise werden die in den Kläranlagen gereinigten Abwässer in natürliche Gewässer als Vorfluter abgeleitet, wobei diese Wässer ggf. als Uferfiltrat wiederum als Trinkwässer genutzt werden.



Das Routinemessprogramm (RMP) sieht die Überwachung von etwa 90 Abwasserreinigungsanlagen in Deutschland vor. Untersucht werden gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und Klärschlämme, vorzugsweise konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen (teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme). Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen (Cs-37, I-131, Co-60, K-40, Tc-99m). Darüber hinaus werden über radiochemische Verfahren die Aktivitäten von Sr-90 sowie Plutonium- und Uranisotope bestimmt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B - II - 2.6 dokumentiert.

Abwässer und Klärschlämme sind radioökologisch von besonderer Bedeutung, da sich in der Umwelt befindliche künstliche und natürliche Radionuklide sehr stark anreichern können. Dies zeigte sich nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl im Jahr 1986. Unmittelbar nach dem Unfall wurde das gesamte Spektrum der freigesetzten, mit der Luft nach Mitteleuropa verfrachteten und dem Fallout bzw. Washout infolge von starken Niederschlägen auf der Erdoberfläche abgelagerten Spalt- und Aktivierungsprodukte nachgewiesen (z. B. I-131, Ru-103, Ru-106, Ce-139, Te-132, Cs-134, Cs-137, Sr-90, Co-60, Co-57). Die festgestellten Aktivitätskonzentrationen (z. B. in Berlin) in der Größenordnung von mehreren 10^5 Bq/kg im Klärschlamm variierten je nach dem elementaren (chemischen) Charakter und der Halbwertszeit der Radionuklide in weiten Grenzen, vergl. [1-5].

Literatur

[1] Gans I, Rühle H, Bünger Th und Beckmann D: Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm unter besonderer Berücksichtigung des Reaktorunfalls in Tschernobyl, Bundesgesundheitsblatt 29, 305-314, 1986

[2] Gans I, Abelmann S, Bünger Th, Fusban H-U, Rühle H, Rughöft S, Viertel H: Langfristige Auswirkung des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf Abwasser und Klärschlamm in der Bundesrepublik Deutschland, Korrespondenz Abwasser 38, 711-721, 1991

[3] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkomission - Band 7, Hersg.: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York, 1998

[4] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Radionuklide in Wasser-Schwebstoff-Sediment-Systemen und Abschätzung der Strahlenexposition, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkomission - Band 9, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York, 1988

[5] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Radioaktivität in Abwasser und Klärschlamm, ATV-Merkblatt M 267 vom August 1995, Kapitel 4 – 6, Hennef, 1995

2.7 Abfälle
(Waste)

Bei vielen häuslichen, kommunalen und gewerblichen Tätigkeiten, industriellen und sonstigen technischen Prozessen einschließlich Verbrennungsvorgängen fallen Abfälle an. Letztere sind durch Ablagerung auf Deponien schadlos zu beseitigen, jedoch ist auf Grund der abfallrechtlichen Vorschriften in der Regel eine vorherige Behandlung (z. B. thermische Verwertung von Hausmüll oder Klärschlamm, Kompostierung organischer Abfälle) vorzunehmen oder zu prüfen, inwieweit diese Stoffe (z. B. Bauschutt, Glas, Metallschrott, Papier) oder einzelne Bestandteile wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Abfälle (und Reststoffe) sind daher stets im Zusammenhang zu betrachten, weil nahezu alle Abfälle zu wieder verwertbaren Reststoffen werden können.

In der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) werden nur solche Abfälle untersucht, die von radioökologischer Bedeutung sein können. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Flugaschen / Filterstäube aus Klärschlamm- und Müllverbrennungsanlagen sowie die in diesen Anlagen bei der Rauchgasreinigung anfallenden Schlämme zu berücksichtigen. In den bei der Verbrennung von Klärschlamm anfallenden Flugaschen findet eine weitere sehr starke Aufkonzentrierung fast aller im Klärschlamm enthaltenen Radionuklide statt. Dies zeigten die Messergebnisse an Filterstäuben in Berliner Klärschlammverbrennungsanlagen nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl im Jahr 1986, vgl. hierzu Kap. 2.6 und die dort zitierte Literatur.

Entsprechend des Routinemessprogramms werden in Deutschland Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll (Umweltbereiche: Filterasche/Filterstaub, Schlacke, feste Rückstände und Abwässer aus der Rauchgaswäsche) überwacht. Da auf Grund veränderter Technologien kaum noch Abwässer aus Rauchgasreinigungsanlagen anfallen, werden von den Messstellen stattdessen jetzt vorwiegend Prozesswässer beprobt. Weiterhin werden oberflächennahe Grund- und Sickerwässer von Hausmülldeponien sowie aus Kompostierungsanlagen der als Produkt abgegebene Kompost untersucht. Im Wesentlichen erfolgen nur gammaspektrometrische Untersuchungen (Cs-137, I-131, K-40). Im Sickerwasser von Deponien wird darüber hinaus auch H-3 bestimmt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B - II - 2.7 dokumentiert.



2.8 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung
(Monitoring of incorporation among the population)

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cs-137- und Cs-134-Aktivität durchgeführt, wobei ab dem Jahr 1998 kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden konnte. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind im Teil B - II - 2.8 zusammengefasst.



III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

In der Bundesrepublik Deutschland begann die gesetzlich geregelte Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen Ende der 60er Jahre. In der ehemaligen DDR begann die gesetzliche Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen im Jahr 1957. Seit der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten werden etwas über 300.000 Personen überwacht.

Eine Ausdehnung des überwachten Personenkreises erfolgte mit der Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM in nationales Recht durch Novellierung der Strahlenschutzverordnung mit Wirkung zum 1. August 2001 und der Änderung der Röntgenverordnung zum 1. August 2002. Durch die Novellierungen ist auch die Überwachung von Personen vorgeschrieben, die am Arbeitsplatz einer erhöhten Exposition durch kosmische oder natürliche terrestrische Strahlung oder Radon ausgesetzt sind, z. B. des fliegenden Personals sowie von Arbeitskräften in Wasserwerken oder im Bergbau. Hierdurch nahm die Anzahl der überwachten Personen um weitere 37.000 zu.

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in vier Bereiche:

1. Bei Personen, die bei genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und effektive Dosen von mehr als 1 mSv/a erhalten können, ist die Körperdosis zu ermitteln. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter. Dieser Personenkreis kann sowohl bezüglich der Anzahl (zurzeit ca. 320.000 Überwachte) als auch auf Grund der seit vier Jahrzehnten praktizierten Überwachung als der traditionelle Bereich der beruflichen Strahlenschutzüberwachung angesehen werden.
2. Überwachungspflichtig ist auch Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann.
3. Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurde die Überwachung bei Arbeiten in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen für Personen, bei denen die jährliche effektive Dosis 6 mSv überschreiten kann, eingeführt. Dies betrifft z. B. die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues ausführen, oder Beschäftigte in Schauhöhlen und Wasserwerken.
4. Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z. B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt.

Die Meldungen aus diesen vier Bereichen werden zentral im Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz zusammengeführt und dort u. a. auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte personenbezogen ausgewertet. Der Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv.

1. Personendosisüberwachung mit Dosimetern
(Monitoring with personal dosimeters)

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von sechs behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt.



Aktuelle Daten über die berufliche Strahlenexposition sind im Teil B - III - 1 enthalten.

2. Überwachung des fliegenden Personals
(Aircraft crew monitoring)



Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis des Flugpersonals und geben diese Werte über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. Das Strahlenschutzregister führt für fliegendes Personal regelmäßig detaillierte Auswertungen durch, die als separater Bericht des BfS veröffentlicht werden (http://www.bfs.de/de/bfs/druck/netzpublikationen).

Die aktuellen Daten zur Überwachung des fliegenden Personals sind in Teil B - III - 2 dargestellt.

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition
(Monitoring of radon enhanced workplaces)

Nach § 95 der StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2) und für die betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt und die Körperdosis der Beschäftigten berechnet.

Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durchführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt.

Die aktuellen Daten zur Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition sind in Teil B - III - 3 dargestellt.

Teil B

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen
(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2002 begannen zuständige Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister.

Diese jährlich gemessenen Daten der Inkorporationsmessstellen sind im Teil B - III - 4 dieses Berichts dargestellt.



IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen
(Diagnostic applications of radiation)

In der diagnostischen Medizin werden bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung einer Untersuchung als auch bezüglich der Qualität ihrer Durchführung hohe Anforderungen gestellt. Nach den Strahlenschutzgrundsätzen der Röntgenverordnung (RöV) und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein, d. h. der Nutzen muss das mit der Anwendung verbundene Strahlenrisiko für den Patienten überwiegen („rechtfertigende Indikation"). Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist weiterhin in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe („alternative" Diagnoseverfahren) die medizinische Fragestellung nicht ebenso beantwortet werden kann.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat die Europäische Union in der Richtlinie 97/43/EURATOM die Mitgliedsstaaten verpflichtet, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die StrlSchV und die RöV, die im Jahre 2002 zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wurde, übertragen diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den Status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.



Die aktuellen Daten zu Häufigkeit und Dosis von Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.1 bzw. 1.2 dargestellt. In Teil B - IV - 1.3 erfolgt eine strahlenhygienische Bewertung der Daten. In Teil B - IV - 1.4 wird abschließend eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren gegeben.

1.1 Röntgendiagnostik
(X-ray diagnostics)

Untersuchungsarten und Strahlenexposition

Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz" von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Monitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören auch die Angiographie (d. h. die Darstellung von Gefäßen nach Gabe eines Röntgenkontrastmittels) und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patienten – vermieden werden können.

Die Computertomographie (CT), bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten fahren, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sogenannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT), erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für den Patienten weniger belastend und es erlaubt zusätzlich, auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Die mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die außer mit der Magnetresonanztomographie (MRT) mit keinem anderen radiologischen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass bei einer klinisch indizierten CT-Untersuchung ein daraus resultierendes strahlenbedingtes Risiko gegenüber dem Nutzen für den Patienten in den Hintergrund tritt.



Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die komplexeren Verfahren sind in Tabelle 1.1-1 (Teil B) zusammengestellt.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition



Das BfS erhebt bereits seit Anfang der 1990er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich vertreten durch die Kassenärztliche und Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KBV, KZBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. Häufigkeiten und kollektive Dosen von Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Auftrag der

Bundeswehr durchgeführt wurden, wurden ebenfalls abgeschätzt und werden bei den in Teil B - IV - 1.1 präsentierten Gesamtzahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis berücksichtigt.

Ärztliche Leistungen werden über so genannte Leistungspositionen abgerechnet, die die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Um eine Standardisierung zu erzielen, wurden die Verfahren der Röntgendiagnostik nach Untersuchungsart und -region geordnet und in Kategorien zusammengefasst.

Für die Datenerfassung ergeben sich die folgenden Problembereiche, die der weiteren Klärung bedürfen:

- Bei stationären Leistungen für gesetzlich Krankenversicherte werden keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet, so dass die stationären Röntgen-Leistungen aus den Daten für die ambulanten Leistungen abgeschätzt werden müssen.
  In die aktuelle Analyse fließen die Resultate eines vom BMU geförderten Forschungsvorhabens ein (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002). Hochgerechnet entfallen etwa 20% der insgesamt im Jahre 2002 in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen auf die im stationären Bereich durchgeführten Röntgenleistungen.
- Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen (sowohl für den ambulanten als auch für den stationären Bereich). Hochgerechnet entfallen etwa 15% der insgesamt in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen auf die PKV.
- Eine eindeutige Zuordnung der Leistungspositionen zu den in der Röntgendiagnostik üblicherweise verwendeten Verfahren bzw. den untersuchten Körperregionen oder Organsystemen ist nicht in jedem Fall möglich, da einige Leistungspositionen Röntgenleistungen sehr verschiedener Körperregionen zusammenfassen („Sammelpositionen"). Beispielsweise bezieht sich eine einzige Leistungsziffer auf Röntgenleistungen der Extremitäten, des Schultergürtels und des Beckengürtels. In die aktuelle Analyse fließen die Ergebnisse zweier vom BMU geförderter Forschungsvorhaben ein, in denen eine genauere Zuordnung der Regionen bei diesen Sammelpositionen ermittelt wurde.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis werden für die verschiedenen Untersuchungsarten - wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. - jeweils das Produkt von Häufigkeit und effektiver Dosis pro Untersuchung ermittelt und anschließend aufsummiert.

Insgesamt wurde für die Analyse der Daten ein standardisiertes Verfahren entwickelt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit Trendanalysen möglich sind. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik
(Nuclear medicine, diagnostics)

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer radioaktiven Markierung mit geeigneten Messgeräten, in der Regel mit einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten darstellbar. Die diagnostische Anwendung von radioaktiven Arzneimitteln ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Nuklid Technetium-99m (Tc-99m) in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit speziell entwickelten radioaktiven Substanzen, wie z. B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers mit hoher räumlicher Auflösung bildlich darzustellen. Die PET ist ein innovatives, eingeführtes Bildgebungsverfahren, das – gegebenenfalls in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Röntgendiagnostik werden für den diagnostischen, ambulanten, kassenärztlichen Bereich vollständige Datensätze bezüglich der Abrechnungen nuklearmedizinischer Untersuchungsleistungen von der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) verwendet. Die Gesamthäufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen von privaten ambulanten und stationären Patienten werden aus den Abrechnungsstatistiken des Verbandes der privaten Krankenversicherung (PKV) bestimmt. Die Häufigkeit der Einzeluntersuchungen der privaten Patienten und die fehlenden Daten der stationären Kassenpatienten werden auf der Basis von relativen Häufigkeitsdaten der Untersuchungsarten abgeschätzt, die im Rahmen einer Erhebung an 14 Kliniken und 10 Praxen in Deutschland ermittelt wurden.

Die kollektive effektive Dosis pro nuklearmedizinischer Radiotracer-Applikation und die effektive Dosis pro Kopf werden nach den ICRP-Publikationen 80 und 106 bestimmt. Mittlere effektive Dosiswerte für diese Untersuchungen wurden aus den Angaben von 14 Kliniken und 10 Praxen bezüglich der verwendeten Radiopharmaka und applizierten Aktivitäten abgeschätzt.

Teil B

Aktuelle Daten zur Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.2 enthalten.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen *(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)*

Teil B

Die strahlenhygienische Bewertung aktueller Daten ist in Teil B - IV - 1.3 dargestellt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren *(Alternative examination procedures)*

Bei den so genannten alternativen Untersuchungsverfahren – Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung – steht neben der Endoskopie die Sonographie (Ultraschall) und die Magnetresonanztomographie (MRT) im Vordergrund.

Voraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder. Durch die Einstrahlung von Hochfrequenz-Pulsen in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahren weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, auch funktionelle Informationen über das Gewebe zu erhalten, wie z. B. über Angiogenese und Mikrozirkulation. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildverfahren, das vergleichbare funktionelle Informationen liefert, ist die hohe räumliche Auflösung der MRT und die Tatsache, dass bei der MRT keine radioaktiven Stoffe oder ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil. Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit der CT.

Wie für die Häufigkeiten der röntgen- oder nuklearmedizinischen diagnostischen Verfahren wurden die Daten der Kassenärztlichen Bundesvereinigung sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen verwendet. Da durch dieses Verfahren nur Untersuchungen in die Abschätzung eingehen können, die tatsächlich abgerechnet wurden, und darüber hinaus sonographische Leistungen häufiger über Pauschalen abgerechnet werden, ist bei Sonographien allerdings nicht auszuschließen, dass die tatsächliche Anzahl unterschätzt wird.

Teil B

Eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren ist in Teil B - IV - 1.4 gegeben.

1.5 Qualitätssicherung *(Quality assurance)*

Mit Inkrafttreten der neuen StrlSchV im Jahr 2001 und der überarbeiteten Regelungen der RöV im Jahr 2002 wurde die rechtliche Basis für verschiedene Maßnahmen geschaffen, die das Ziel haben, die medizinische Strahlenexposition zu reduzieren und den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern.

So wird beispielsweise ausdrücklich gefordert, dass vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen durch einen fachkundigen Arzt die Feststellung zu treffen ist, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Der Fachausdruck hierfür ist die „rechtfertigende Indikation“. Die korrekte Feststellung der rechtfertigenden Indikation wird in regelmäßigen Abständen von den Ärztlichen Stellen überprüft. Mittel- und langfristig erwarten BMU und BfS, dass durch diese Maßnahme die Anzahl ungerechtfertigter Röntgenuntersuchungen reduziert werden kann.

Darüber hinaus sind – als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik – diagnostische Referenzwerte (DRW) zu beachten. Die DRW werden vom BfS für häufige oder dosisintensive Verfahren festgesetzt, um dem Arzt eine Orientierungshilfe zu geben, welche Dosiswerte – gemittelt über eine größere Anzahl von Untersuchungen – eingehalten bzw. nicht überschritten werden sollen. Die Einhaltung der DRW wird in regelmäßigen Abständen von den Ärztlichen Stellen überprüft. Werden die DRW wiederholt und ungerechtfertigt nicht eingehalten bzw. überschritten, so ist es die Aufgabe der Ärztlichen Stellen, zusammen mit dem verantwortlichen Arzt mögliche Fehlerquellen zu identifizieren. Ziel ist es, durch eine persönliche Beratung zu einer Verbesserung der Untersuchungsqualität zu gelangen. Mittel- und langfristig erwarten BMU und BfS, dass durch die Einführung der DRW die medizinische Strahlenexposition reduziert werden kann.

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen – wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze dienen soll – sowie radiologische Bilder an nachbehandelnde Ärzte weiterzugeben, sollen Wiederholungsuntersuchungen vermieden werden. Leider haben sich die Erwartungen an die Einführung eines Röntgenpasses bisher noch nicht erfüllt, da sich die Pflicht, Röntgenpässe aktiv anzubieten, in der Praxis noch nicht ausreichend durchgesetzt hat.

Die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material („Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, Belichtungsautomatik und gepulster Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. CT und interventionelle Radiologie sind zwar dosisintensive radiologische Verfahren, stellen aber durch eine wesentlich genauere und umfangreichere Diagnosestellung bzw. durch den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die einzelnen Patienten dar. Die „Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie" beschreiben, welche Bildqualität für bestimmte Untersuchungen erforderlich ist, und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die Ärztlichen Stellen überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer Ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass sowohl leichte als auch schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die Ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosiseinsparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch die mögliche Korrektur von Fehlbelichtungen oder durch die strahlungsfreie Situationskontrolle bei Durchleuchtungen mittels „Last Image Hold". Auch bei der CT zeichnet sich – zumindest bei Standarduntersuchungen – ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken (Mehrschicht-Computertomographie) neue Anwendungsarten mit einer diagnostischen Aussagekraft, die bisher nicht zu erzielen war. Jedoch sind diese Anwendungen meist auch mit höheren Dosen verbunden. Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder mittels Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Allerdings muss auch in der Teleradiologie weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl Indikationsstellung als auch Durchführung bzw. Überwachung von Röntgenuntersuchungen Ärzten vorbehalten sind, die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

Auch bei Ausschöpfung aller Maßnahmen der technischen Qualitätssicherung ist die streng an der notwendigen diagnostischen Fragestellung orientierte Indikationsstellung mit einer damit verbundenen möglichen Reduktion der Untersuchungshäufigkeit die wirksamste Methode, die Strahlenexposition der Patienten zu verringern.

2. Therapeutische Strahlenanwendungen
(Therapeutic applications of radiation)

2.1 Strahlentherapie
(Radiotherapy)

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik findet die Strahlentherapie nur bei einem relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung Anwendung. Sie ist durch eine hohe Strahlenexposition in einem kleinen Zielvolumen des Körpers charakterisiert. Ziel der Strahlentherapie ist es, die zur Zerstörung der krankhaft veränderten Zellen erforderliche Strahlendosis im Zielvolumen zu applizieren, gleichzeitig aber das benachbarte gesunde Gewebe weitgehend zu schonen.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen der klinischen Strahlentherapie im Verbund mit diagnostischen Verfahren, Medizinischer Strahlenphysik, Strahlenbiologie und Informatik. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata, z. B. kombinierte Radiochemotherapieansätze, erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene. Wichtige Entwicklungen in den letzten Jahren beinhalten insbesondere die weitere Verbesserung der Bestrahlungsplanung, die eine optimierte, individuelle, dreidimensionale, tumorkonforme Bestrahlung auch irregulär geformter Tumoren in anatomisch schwieriger Umgebung ermöglicht. Dazu gehören die Stereotaxie, eine hochdosierte Bestrahlung des Tumors, entweder einzeitig oder in wenigen hochdosierten Fraktionen, wie auch die IMRT (intensitätsmodulierte Radiotherapie), die es ermöglicht, die Strahlendosis innerhalb eines Bestrahlungsfeldes zu verändern (modulieren). Für die Patienten bedeutet das, dass sich die Heilungschance erhöht, während unerwünschte Nebenwirkungen der Bestrahlung am gesunden Gewebe seltener sind. Dabei ist eine ständige Qualitätskontrolle in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen, so genannte ultraharte Röntgenstrahlung, oder schnelle Elektronen im Megaelektronvoltbereich erzeugt werden.

Röntgentherapieanlagen bis zu einer Energie von ca. 500 keV werden vorzugsweise für die Oberflächentherapie eingesetzt, d. h. zur Behandlung von Hauttumoren sowie zur Behandlung von entzündlichen oder degenerativen Erkrankungen an Gelenken und Bandapparat. Für die Strahlenbehandlung tiefliegender bösartiger Tumoren sind sie nicht geeignet.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Überprüfung des Behandlungserfolges (Nachsorge). Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um im erkrankten Bereich die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Strahlenexposition zu charakterisieren. In der „Interdisziplinären Leitlinie der Deutschen Krebsgesellschaft“ unter Federführung der Arbeitsgemeinschaft Radiologische Onkologie (ARO) der Deutschen Krebsgesellschaft wird auf die Prinzipien der modernen Strahlentherapie (Radioonkologie) im Einzelnen sowie zu den Indikationen für eine Strahlentherapie eingegangen.



Aktuelle Daten sind in Teil B - IV - 2.1 dargestellt.

2.2 Nuklearmedizinische Therapie
(Therapy with radiopharmaceuticals)

Die Radionuklidtherapie nutzt die Möglichkeit, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid I-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Tumorzellen vernichtet. Weitere wichtige Anwendungen der nuklearmedizinischen Therapie sind:

- die Radiosynoviorthese, d. h. ein Therapieverfahren zur weitgehenden Wiederherstellung der ursprünglichen Gelenkinnenhaut durch lokale Strahlenanwendung (z. B. bei Gelenkerkrankungen mit rezidivierenden Gelenkergüssen) sowie
- die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen.

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um die Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören.

Die Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) gibt Leitlinien heraus, die neben Empfehlungen zur klinischen Qualitätskontrolle in der Diagnostik auch Empfehlungen für die nuklearmedizinische Therapie beinhalten.



3. Medizinische Forschung
(Medical research)

Eine systematische Arzneimittel- bzw. Heilmethodenforschung ist aus medizinischen, ethischen sowie gesundheitspolitischen Gründen unerlässlich. Ein neu entwickeltes Arzneimittel, Medizinprodukt oder eine neue Heilmethode muss auf dem Weg zur allgemeinen Anwendung eine präklinische und klinische Prüfung durchlaufen. In der klinischen Prüfung wird untersucht, ob ein Arzneimittel zugelassen werden kann, ein Medizinprodukt eine Zertifizierung erhalten kann oder eine Diagnose- oder Therapiemethode allgemein anerkannt wird.

Die Anwendung ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) oder radioaktiver Stoffe am Menschen in der medizinischen Forschung wird in der RöV und StrlSchV geregelt. Sie schützen Probanden, bei denen im Rahmen der medizinischen Forschung ionisierende Strahlung oder radioaktive Stoffe angewendet werden, in besonderer Weise durch eine Genehmigungspflicht.

Diese besteht
- bei der biomedizinischen Forschung mit rein wissenschaftlicher Fragestellung, die nicht der Heilung (Diagnose, Therapie) des Probanden dient sowie
- bei der klinischen, wissenschaftlichen Forschung an Probanden, die eine Abweichung von anerkannten und standardisierten Methoden oder Hilfsmitteln darstellt.

Die Genehmigungspflicht ergibt sich daraus, dass – im Unterschied zu der Krankenversorgung – der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn zur Wirksamkeit bestimmter Mittel oder Methoden im Vordergrund steht.

Aktuelle Daten sind in Teil B - IV - 3 dargestellt.



4. Herzschrittmacher
(Pacemakers)

Seit 1977 werden keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Auf derartige Batterien kann verzichtet werden, nachdem nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Funktionsdauer bis zu 10 Jahren entwickelt wurden.

Eine Notwendigkeit, derzeit noch im Patienten implantierte Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien (nur noch Plutonium-238) aus Gründen der Strahlenexposition vorzeitig zu explantieren, ist nicht gegeben.

Dem Bundesamt für Strahlenschutz sind alle Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen schriftlich zu melden. Fernerhin fordert das Bundesamt für Strahlenschutz mit Zustimmung der Genehmigungsbehörden der Länder Erfahrungsberichte bei allen Kliniken, die Explantationen von Schrittmachern mit Radionuklidbatterien durchführen, an.

Alle gemeldeten Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen sind in Teil B - IV - 4 zusammengefasst.



V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

(THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe *(Border-crossing transport of radioactive material)*

Rechtsgrundlagen

Nach § 3 Atomgesetz (AtG) bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung bzw. die Anwendbarkeit des Anzeigeverfahrens bei der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe sind in den §§ 19-22 der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)) (StrlSchV) festgelegt. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Bearbeitung der Anzeigen nach deren zollamtlicher Abfertigung (Nicht-EU-Staaten) ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach §23 Abs. 1 Nr. 3 AtG das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig. Großquellen im Sinne des Atomgesetzes § 23 Abs. 2 sind radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1.000 Terabecquerel (10^{15}Bq) übersteigt.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit lässt sich im Rahmen seiner Fachaufsicht (§ 22 Abs. 3 AtG) u. a. jährlich über den Umfang und die Entwicklung der Ein- und Ausfuhren von Kernbrennstoffen, von sonstigen radioaktiven Stoffen und der umschlossenen Strahlenquellen berichten.

Verfahren

§ 2 AtG unterscheidet bei den radioaktiven Stoffen zwischen Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen.

Kleine Massen von Kernbrennstoffen gelten nach § 2 Abs. 3 AtG als sonstige radioaktive Stoffe.

Kernbrennstoffe (ohne Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG)

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Ausfuhr von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die Einfuhr ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) in das Bundesgebiet gebracht und es ist dafür Vorsorge getroffen, dass die zu verbringenden Kernbrennstoffe nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben werden, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist. In diesen Fällen besteht lediglich eine Anzeigepflicht (vgl. § 20 Abs. 3 StrlSchV).

Sonstige radioaktive Stoffe, Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG

Die Genehmigungspflicht für die grenzüberschreitende Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG ergibt sich aus § 19 Abs. 1 S. 1 StrlSchV. Der Regelungsbereich des § 19 StrlSchV beschränkt sich auf die Einfuhr in den Geltungsbereich dieser Verordnung aus einem Nicht-EU-Staat und die Ausfuhr aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Die Genehmigungspflicht entfällt, wenn radioaktive Stoffe bei Servicetätigkeiten zur eigenen Nutzung mitgeführt oder Konsumgüter, denen radioaktive Stoffe zugesetzt bzw. die aktiviert wurden, verbracht werden. In diesem Fall bedürfen die Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG keiner Genehmigung (§ 19 Abs. 1 S. 2 Nrn. 1 - 3 StrlSchV).

§ 20 StrlSchV enthält weitere Ausnahmen von der Genehmigungspflicht. So ist die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG nach § 20 Abs. 1 StrlSchV nur anzeigepflichtig - nicht genehmigungspflichtig - sofern der Empfänger in der Bundesrepublik Deutschland eine Umgangsgenehmigung für sonstige radioaktive Stoffe entsprechend § 7 oder § 11 StrlSchV bzw. §§ 6, 7 oder 9 AtG besitzt. Die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe ist bis zum 10^8-fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig (§ 20 Abs. 2 StrlSchV), oberhalb dieser Grenze ist sie genehmigungspflichtig.

Die dargestellten Genehmigungs- und Anzeigevorbehalte gelten gemäß § 21 StrlSchV nicht für Stoffe, die in der Anlage I (genehmigungsfreie Tätigkeiten) Teil B Nr. 1 bis 6 genannt sind.

Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit der Änderung der Strahlenschutzverordnung durch das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 18./19. August 2005 (BGBl. I S. 2365) werden bei den umschlossenen radioaktiven Stoffen zusätzlich solche unterschieden, die hochradioaktiv sind. Die Grenze für die Unterscheidung ist vom entsprechenden Radionuklid abhängig und wird in der neu eingeführten Spalte 3a in Tabelle 1 in Anlage III zur Strahlenschutzverordnung angegeben. Beispielsweise gilt eine Cobalt-60-Strahlenquelle ab einer Aktivität von 4 GBq als hochradioaktiv.

Anzeigeverfahren

Die Anzeige, deren Inhalt und Form vom Bundesministerium der Finanzen vorgeschrieben ist, wird der zuständigen Zolldienststelle vorgelegt, dort mit den Frachtpapieren verglichen und bestätigt, sofern die Angaben übereinstimmend sind. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA übersandt wird. Mit der Einführung des europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung und die Anzeigen wurden dem BAFA direkt zugeleitet. Mit dem Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 sind nur noch Anzeigen nach § 20 Abs. 3 dieser Verordnung für Verbringungen der dort

genannten Kernbrennstoffe aus anderen EU-Mitgliedstaaten erforderlich. Diese sollen dem BAFA innerhalb einer Woche nach erfolgter Verbringung direkt übersendet werden.

Genehmigungsverfahren

Das BAFA prüft die Genehmigungsanträge auf Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Atom- und des Außenwirtschaftsrechts und erteilt die entsprechenden Genehmigungen. Die Durchführung der Ein- und Ausfuhr wird vom Zollamt auf der mitgeführten Genehmigung bestätigt, Abweichungen werden vermerkt. Bei groben Verstößen werden die Sendungen zurückgewiesen. Das BAFA erhält eine Durchschrift mit dem entsprechenden Zollvermerk.

Auch hier ist seit 1. Januar 1993 die zollamtliche Abfertigung im Bereich des Binnenmarktes entfallen. Die Genehmigungen werden daher mit der Auflage versehen, dem BAFA den Vollzug der Verbringung innerhalb bestimmter Fristen mitzuteilen.

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

Das BAFA überprüft bei Kernbrennstoffen sowohl Anzeigen als auch Genehmigungen im Nachhinein auf Übereinstimmung mit den Bestandsänderungsberichten, die gemäß EURATOM-Verordnung Nr. 3227/76 monatlich von den Betreibern für die Europäische Union (EU) zu erstellen und dem BAFA in Kopie zuzuleiten sind. Darüber hinaus gehen vom BAFA monatlich Ausdrucke mit den wesentlichen Angaben zu allen Ein- und Ausfuhren von radioaktiven Stoffen an die zuständigen Gewerbeaufsichtsämter bzw. an die sonst von den Bundesländern bestimmten atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

Zusätzlich unterrichtet das BAFA das BMU, sobald im Rahmen eines Ein-, Aus- oder Durchfuhrvorgangs Staaten berührt sind, die das Übereinkommen über den physischen Schutz von Kernmaterial **nicht** unterzeichnet haben. Die Überwachung der grenzüberschreitenden Verbringungen obliegt dem Bundesministerium der Finanzen oder den von ihm bestimmten Zolldienststellen (§ 22 Abs. 2 AtG).

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:
- Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)
- EU-Dual-Use-Verordnung

Zuständiges Ressort ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; betroffen sind Waren der Kategorien 0 und 1 des Abschnittes C der Ausfuhrliste. Die Anträge werden an das BAFA gerichtet und dort unter Beachtung aller relevanten Vorschriften und der internationalen Verträge bzw. Abkommen in einem abgestuften Verfahren unmittelbar oder nach Abstimmung mit den Ressorts entschieden.

Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der Mitgliedsstaaten zu verbessern. Die Verordnung gilt nicht für

- Ausgangsstoffe und Kernbrennstoffe, weil hier die EURATOM-Kernmaterialüberwachung für ausreichend erachtet wird und (nicht mehr) für
- radioaktive Abfälle, weil diese seit dem 1.1.1994 durch die Richtlinie 92/3/EURATOM, zwischenzeitlich durch die Richtlinie 2006/117/EURATOM aufgehoben und ersetzt, erfasst werden.

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 2006/117/EURATOM mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese in einen anderen Mitgliedstaat verbracht hat, macht den zuständigen Behörden des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende eine Anzeige. In Deutschland liegt die Zuständigkeit beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Eine Verbringung von umschlossenen Strahlenquellen muss der Empfänger seiner zuständigen Behörde zusätzlich vorher ankündigen, wobei sich diese Erklärung auch auf mehrere Verbringungen erstrecken kann. Die Verbringung darf in jedem Fall erst durchgeführt werden, wenn der Empfänger der radioaktiven Stoffe dem Besitzer die behördlich bestätigte Erklärung zugeleitet hat (Anhang I dieser Verordnung).

Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen (ABl. L 346 v. 22. Dezember 2003)

Um eine bessere Kontrolle u. a. auch bei der Weitergabe von hoch radioaktiven Strahlenquellen zu erreichen, hat der Rat der Europäischen Union am 22. Dezember 2003 die Richtlinie zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener und herrenloser Strahlenquellen (Richtlinie 2003/122/EURATOM des Rates) erlassen. Die Richtlinie enthält über umfangreiche Buchführungs-, Kennzeichnungs- und Unterrichtungspflichten des Besitzers auch die Verpflichtung der Mitgliedstaaten zur Einrichtung eines Systems, das es ihnen ermöglicht, von einzelnen Weitergaben von Strahlenquellen angemessen Kenntnis zu erhalten.

Seit 18./19. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl. I S. 2365). Das Gesetz setzt die Richtlinie 2003/122/EURATOM um. Kern des deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Zentralregisters für hochradioaktive, umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informa-

tionen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Einsatzort, etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland in Verkehr sind und deren Aktivität zum Zeitpunkt des In-Verkehr-Bringens eine gesetzlich vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1-Wertes: z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

Richtlinie 2006/117/EURATOM des Rates vom 20. November 2006 über die Überwachung und Kontrolle der Verbringungen radioaktiver Abfalle und abgebrannter Brennelemente (ABl. L 337 vom 5. Dezember 2006, S. 21)

Das Europäische Parlament hat 1988 aus konkretem Anlass eine umfassende Gemeinschaftsregelung gefordert, um grenzüberschreitende Verbringungen radioaktiver Abfälle von ihrer Entstehung bis zur Lagerung einem System strenger Kontrolle und Genehmigungen zu unterwerfen. In der Bundesrepublik Deutschland ist gemäß § 9 a AtG die inländische Endlagerung vorgeschrieben.

Am 3. Februar 1992 hat der Rat die Richtlinie 92/3/EURATOM zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft (ABl. L 35 vom 12. Februar 1992, S. 24) erlassen, weil weder die Richtlinie über die in der Gemeinschaft vorzunehmende Überwachung und Kontrolle gefährlicher Abfälle, noch die Grundnormen für den Gesundheitsschutz Regelungen für radioaktive Abfälle enthielten.

Die Richtlinie 92/3/EURATOM wurde mittlerweile durch die Richtlinie 2006/117/EURATOM aufgehoben und ersetzt, um u. a. das Verfahren für die Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen zu vereinfachen und die Übereinstimmung mit anderen Gemeinschaftsvorschriften und internationalen Rechtsvorschriften, insbesondere mit dem Gemeinsamen Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle sicherzustellen. Das Verfahren der Richtlinie 92/3/EURATOM erfasste keine Brennelemente. Mit Erlass der Richtlinie 2006/117/EURATOM wird der Anwendungsbereich dahingehend erweitert und zwar unabhängig davon, ob diese Brennelemente für die Wiederaufarbeitung vorgesehen sind, oder nicht.

Die Mitgliedstaaten waren verpflichtet, die Richtlinie 2006/117/EURATOM bis zum 25. Dezember 2008 in nationale Rechtsvorschriften umzusetzen.

Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31.07.1998 (BGBl. I, Seite 1918)

Die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung vom 31.07.1998 setzte die Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle in nationales Recht um. Die Richtlinie diente der Kompensation des Wegfalls von Kontrollen an den Binnengrenzen der Europäischen Gemeinschaften und vereinheitlicht die Anforderungen für die Einfuhr aus Drittländern und Ausfuhr in Drittländer, die nicht Mitglied der Europäischen Gemeinschaft sind.

Für die formelle Umsetzung in eine nationale Rechtsverordnung war eine Änderung des Atomgesetzes erforderlich. Im Rahmen der am 1. Mai 1998 in Kraft getretenen Atomgesetznovelle wurde eine entsprechende Ermächtigungsvorschrift für die formelle Umsetzung dieser Richtlinie durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) in das Atomgesetz aufgenommen. Mit Inkrafttreten der AtAV entfällt für die nach dieser Verordnung abzuwickelnden Verbringungen die Anwendung der Strahlenschutzverordnung (§ 19) für radioaktive Abfälle. Dieser Umstand ist nunmehr nach Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 in den §§ 19-22 StrlSchV berücksichtigt worden, indem die radioaktiven Abfälle aus dem Regelungsbereich ausgenommen wurden.

Zur Umsetzung der Richtlinie 2006/117/EURATOM des Rates vom 20. November 2006 über die Überwachung und Kontrolle der Verbringungen radioaktiver Abfalle und abgebrannter Brennelemente (ABl. L 337 vom 5. Dezember 2006, S. 21) wird die AtAV vom 31.07.1998 im Jahre 2009 durch eine Neufassung abgelöst werden. Die Vielzahl der durch die Richtlinie 2006/117/EURATOM vorgegebenen Änderungen kommen einer Neugestaltung der AtAV gleich, weshalb man sich für den Weg der Änderung der AtAV in Form einer Ablösungsverordnung entschieden hat.

Die Neufassung der AtAV unterscheidet sich von der AtAV vom 31.07.1998 im Wesentlichen durch die Erweiterung des Anwendungsbereichs auf bestrahlte Brennelemente, die Vereinfachung/Präzisierung des Verfahrens und die Einführung fester Fristen zur Bearbeitung von Anträgen, die Einführung eines automatischen Zustimmungsverfahrens (erforderliche Zustimmungen von Mitgliedstaaten gelten als erteilt, wenn in Gang gesetzte Fristen abgelaufen sind), die Aktualisierung des einheitlichen Begleitscheins (Antrags-, Zustimmungs- und Genehmigungsformular) sowie die Neufassung der Kriterien bei Verbringungen in Drittländer.

Der Antrag zur Verbringung radioaktiver Abfälle wird nach § 6 AtAV beim BAFA gestellt. Dieses konsultiert auch die entsprechenden Stellen der beteiligten Staaten.

Die Ein- und Ausfuhrstatistiken radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 1 tabellarisch dargestellt.



2. Beförderung radioaktiver Stoffe
(Transport of radioactive material)

Für den Transport radioaktiver Stoffe hat der Gesetzgeber im Rahmen des Atom- und Gefahrgutrechts umfassende Regelungen erlassen. Zweck der Vorschriften ist es, die mit der Beförderung radioaktiver Stoffe verbundenen Gefahren, insbesondere die schädliche Wirkung ionisierender Strahlung für Leben, Gesundheit und Sachgüter auszuschließen bzw. auf das zulässige Maß zu reduzieren.

Aktuelle Angaben über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 2 enthalten.



3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler
(Handling of radioactive material, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)

Als Umgang mit radioaktiven Stoffen wird nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 Strahlenschutzverordnung deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung soweit es sich nicht um Arbeiten (im Sinne der StrlSchV § 3 Abs. 1 Nr. 2) handelt, bezeichnet.

Die Strahlenschutzverordnung trifft gemäß § 2 Abs. 1 Regelungen für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen mit einer Teilchen- oder Photonengrenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronvolt.

Die Röntgenverordnung (RöV) gilt gemäß § 1 RöV für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronvolt erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 1 Megaelektronvolt begrenzt ist.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe
(Users of radioactive sources)

Die Zahl der Anwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland ist auf vier Bereiche aufgeschlüsselt:

- Medizin einschließlich medizinischer Forschung und Lehre,
- Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- Industrie und gewerbliche Wirtschaft und
- Sonstige (z. B. Behörden).

Die Entwicklung der Anzahl der Anwender radioaktiver Stoffe ist in Teil B - V - 3.1 wiedergegeben.

3.2 Bestand radioaktiver Abfälle
(Stock of radioactive waste)

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Abfälle an:

- beim Betrieb von Kernkraftwerken,
- aus der Stilllegungsphase von Kernkraftwerken, von Forschungs-, Demonstrations- und Unterrichtsreaktoren sowie von weiteren kerntechnischen Einrichtungen,
- bei der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung,
- bei der Urananreicherung sowie bei der Herstellung von Brennelementen (kerntechnische Industrie),
- bei der Radioisotopenanwendung in sonstigen Forschungseinrichtungen, Universitäten, Gewerbe- und Industriebetrieben, Krankenhäusern oder Arztpraxen,
- bei sonstigen Abfallverursachern wie im militärischen Bereich.

Zukünftig sind darüber hinaus auch abgebrannte Brennelemente – insbesondere aus Leichtwasserreaktoren - und solche Abfälle zu berücksichtigen, die bei der Konditionierung dieser Brennelemente für die direkte Endlagerung anfallen werden. Ebenso ist der aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente zurückzunehmende radioaktive Abfall zu berücksichtigen.

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich in einer Erhebung durch das BfS ermittelt. Teil B - V - 3.2 enthält die zusammengefassten aktuellen Daten für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle.



3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ)
(High-activity sealed sources (HASS))

Seit 18./19. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl I S. 2365). Das Gesetz setzt die Richtlinie 2003/122/EURATOM um, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern des deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Standort, etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.



Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ- Register) wird vom Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland im Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1-Wertes gemäß StrlSchV, Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a: z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o. g. Richtlinie der EURATOM innerhalb der EU einheitlich festgelegt. Der aktuelle Erfassungsstand ist aus Teil B - V - 3.3 zu entnehmen.

In Deutschland existiert für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen ein breites Anwendungsfeld. Während hochradioaktive Quellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden, verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z. B. für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mittels mobiler Strahlenquellen (Cs-137 oder Ir-192). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung. Hier wird u. a. Co-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Cf-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet.

3.4 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen
(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe unzulässig bzw. deren Aktivierung nur unter stark eingeschränkten Bedingungen (§ 105 StrlSchV) zulässig. Dies betrifft z. B. Lebensmittel, Spielwaren, Schmuck, kosmetische Produkte und Futtermittel. Bei bestimmten Industrieerzeugnissen und Konsumgütern bedarf der Zusatz radioaktiver Stoffe, deren Aktivierung sowie der Import und Export dieser Produkte einer Genehmigung. Außer bei Gütern mit geringer Aktivität ist ein Rücknahmekonzept Voraussetzung. Die Strahlenschutzverordnung verpflichtet den Hersteller zur kostenlosen Rücknahme des Konsumgutes und den Verbraucher dazu, die Produkte nach der Nutzung zurückzuführen.

Nach der Strahlenschutzverordnung können Vorrichtungen, in die radioaktive Stoffe eingefügt sind, auch genehmigungsfrei verwendet werden, wenn diese eine Bauartzulassung besitzen. Diese Möglichkeit ist allerdings an eine Reihe von Auflagen gebunden, z. B. hinsichtlich des Verwendungszwecks, der Art und Aktivität der Radionuklide, der Umhüllung radioaktiver Stoffe oder der Dosisleistung an der Oberfläche des Produkts. Bauartzugelassene Vorrichtungen sind keine Konsumgüter. Typische Fälle für eine genehmigungsfreie Verwendung sind z. B.:

- Geräte oder andere Vorrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten, und deren Bauart das Bundesamt für Strahlenschutz nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und durch die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung zugelassen hat (z. B. Ionisationsrauchmelder) und
- bestimmte Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.

Unter diese Regelungen fallen eine große Zahl von Erzeugnissen, die vorwiegend in Wissenschaft und Technik verwendet werden. Die in diesen Produkten eingesetzten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht zu ersetzende Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Es handelt sich z. B. um technische Speziallampen, die dazu beitragen, Energie zu sparen oder Ionisationsrauchmelder, die ein ordentliches Funktionieren lebensrettender Warnvorrichtungen garantieren.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtenmessungen

Nach der StrlSchV muss im Allgemeinen die Verwendung von Strahlenquellen für Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen von der zuständigen Behörde genehmigt werden. Die in der Materialprüfung Beschäftigten gehören zum Kreis der beruflich strahlenexponierten Personen. Für Werkstoffprüfungen ist Ir-192 das weitaus am häufigsten verwendete Radionuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Strahlenquelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Co-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die heute üblicherweise eingesetzten Aktivitäten liegen im Bereich von 0,1 bis 5 Terabecquerel.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit Gammastrahlern (Co-60 und Cs-137) mit einer Aktivität bis zu 20 Gigabecquerel. Die Messung beruht auf der von der Dichte abhängigen Absorption der ionisierenden Strahlung. Quelle und Detektor sind im Allgemeinen so gut abgeschirmt, dass praktisch kein Kontrollbereich entsteht. Außerdem sind die Ge-

räte meistens an schwer zugänglichen Stellen eingebaut, die von Arbeitsplätzen weit entfernt sind, so dass keine erhöhte Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

Zur Dicken- und Dichtemessung werden im Wesentlichen die Radionuklide Kr-85, Sr-90 und Pm-147 als Betastrahler und Co-60 und Cs-137 als Gammastrahler benutzt. Die Aktivitäten können bis zu 50 Gigabecquerel betragen. Geräte mit Betastrahlung werden in der Papier-, Textil-, Gummi- und Kunststoffindustrie eingesetzt, solche mit Gammastrahlung in der Holz-, Schaumstoff- und Stahlindustrie zur Dickemessung, in der Lebensmittelindustrie und der chemischen Industrie zur Dichtemessung.

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Störstrahlern

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der verwendeten Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der Verbreitung der Erzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein genehmigungsfreier Umgang ermöglicht.

Neben den gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist der Grundsatz zu beachten, dass mit der Anwendung ein gerechtfertigter Vorteil verbunden sein muss.

3.5 Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler *(Operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)*

Im nichtmedizinischen Bereich werden eine Vielzahl unterschiedlicher Anlagen und Vorrichtungen eingesetzt, bei denen ionisierende Strahlung bzw. Röntgenstrahlung genutzt wird. Hierzu gehören u. a. Röntgenstrahler zur Grobstrukturanalyse, (z. B. Gepäckdurchleuchtungsanlagen auf Flughäfen), Vorrichtungen zur Materialanalyse (Röntgenfluoreszenzanalysatoren) oder aber auch tiermedizinische Röntgeneinrichtungen.

Der Betrieb dieser Anlagen und Vorrichtungen ist genehmigungspflichtig, es sei denn, dass diese Geräte bauartzugelassen sind. Die Inbetriebnahme solcher Vorrichtungen ist in diesem Fall bei der zuständigen Aufsichtsbehörde anzuzeigen. Bei der Anzeige sind zusätzlich organisatorische Voraussetzungen für Strahlenschutzmaßnahmen nachzuweisen. Bei Röntgeneinrichtungen, deren Bauart zugelassen werden soll, ist der erforderliche Strahlenschutz durch die konstruktive Ausführung der Röntgeneinrichtung zu gewährleisten. Der Nachweis der Wirksamkeit des konstruktiven Strahlenschutzes erfolgt u. a. durch die Prüfung der Einhaltung festgelegter Werte der Ortsdosisleistung sowie durch geforderte Sicherheitsmaßnahmen.

Weitere Quellen ionisierender Strahlung sind die so genannten Störstrahler. Dies sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlung erzeugt wird, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu diesen gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen, sofern diese Geräte mit einer Spannung zur Beschleunigung der Elektronen über 30 kV arbeiten und keine Bauartzulassung besitzen. Auch Radargeräte gehören zu den Störstrahlern im Sinne der Röntgenverordnung.

Zu den Störstrahlern, die auch ohne Bauartzulassung genehmigungs- und anzeigefrei betrieben werden können, gehören die Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildern, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten. Obwohl bei Datensichtgeräten die Betrachtungsabstände nur etwa 0,5 m (ca. 3 m bei Fernsehgeräten) betragen und die zu unterstellende Betrachtungszeit mit acht Stunden im Vergleich zu Fernsehgeräten sehr viel länger ist, verursachen diese Geräte eine Strahlenexposition, die für die betroffenen Personen nur wenige Prozent der natürlichen Strahlenexposition beträgt.

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse *(Exceptional events subject to reporting)*

Die besonderen Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgengeräten werden jährlich im Teil B - V - 4 dieses Berichts zusammengestellt.



VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

Einleitung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze, ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie regt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien an.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische (im Frequenzbereich von 0 bis 100 Kilohertz (kHz)) bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (100 kHz bis 300 GHz) sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (UV) Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm) und die infrarote Strahlung mit Wellenlängen zwischen 760 nm und 1 mm gehören (Abb. 1.1).

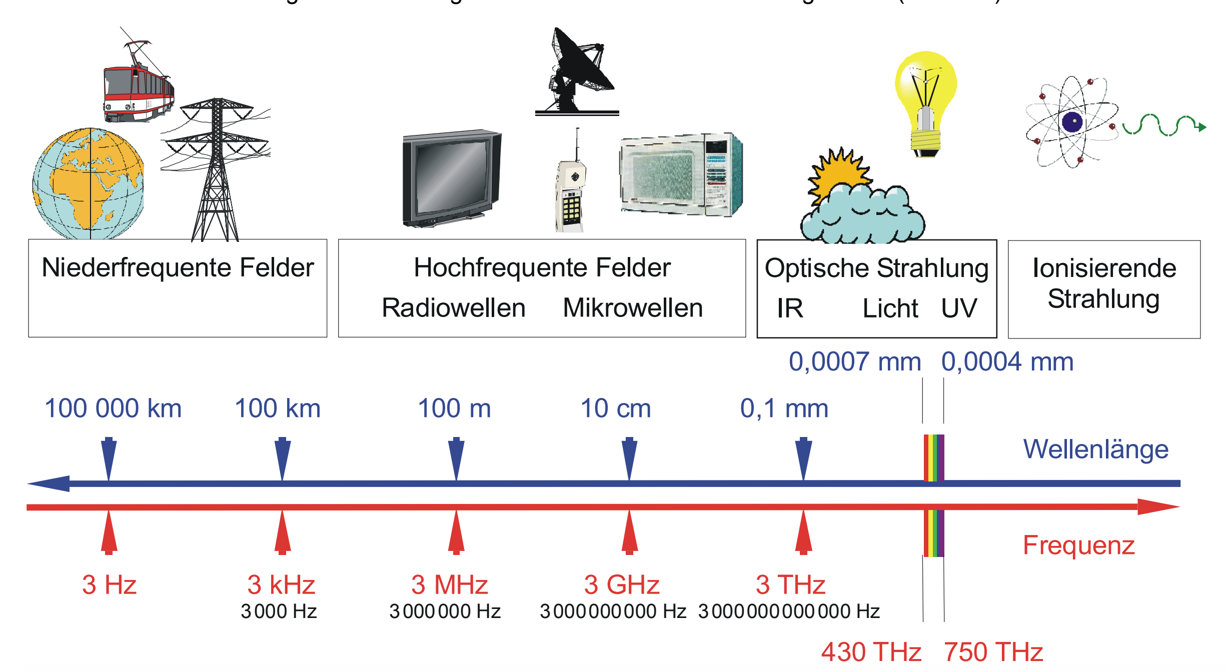


Abbildung 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nichtionisierenden Strahlung die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Im Falle der hochfrequenten Felder kann dies bei Werten über den gesetzlich festgelegten Grenzwerten zu Temperaturerhöhungen im Organismus führen. Das Frequenzspektrum der optischen Strahlung liegt dagegen bereits in einem deutlich höherenergetischen Bereich an der Grenze zur ionisierenden Strahlung. In diesem Bereich treten zunehmend auch molekularbiologische Wirkungen auf.

1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung
(Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)

1.1 Statische Felder
(Static fields)

Der Begriff „Statische Felder“ umfasst elektrische Felder, die z. B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und Magnetfelder, wie z. B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsumverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 Kilovolt pro Meter (kV/m) auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren des Körpers mit einem solchen Gegenstand zu Ausgleichsströmen. Bei Feldstärken oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene durch Funkenentladungen Schreckreaktionen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind für solche Funkenentladungen vor allem elektrostatische Aufladungen verantwortlich, nicht jedoch elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Bisher konnten keine gesundheitlich relevanten Wirkungen statischer elektrischer Felder gefunden werden. Dies erklärt, weshalb keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände, z. B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind, und andererseits die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilen (z. B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 Millivolt (mV) bei einem statischen Magnetfeld von 1 Tesla (T). Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Interaktion in einem 5 T-Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7% verringern kann. Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Konservative Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z. B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z. B. Straßenbahnen), Magnetschwebebahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten wie z. B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch manche Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 Mikrotesla (µT)) auf. Für den Menschen konnte eine derartige Wahrnehmung bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch: Nuclear magnetic resonance – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bis heute sind keine Schwellen für eine gesundheitliche Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Untersuchungen bei Magnetfeldexpositionen bis 2 T konnten keine schädigenden Wirkungen belegen. Bei darüber hinaus gehenden Flussdichten im Bereich von 2 bis 4 T sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand ebenfalls keine schädlichen Wirkungen zu erwarten, jedoch besteht die Möglichkeit von Befindlichkeitsstörungen bei Bewegungen im Feld. Nach dem heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher [1]. Sie liegen bei Normalbetrieb der Geräte des magnetischen Resonanzverfahrens (MR) bei 2 T, für den kontrollierten Betrieb der Geräte bei 2 bis 4 T und beim Forschungsbetrieb ab 4 T.

Literatur

[1] Grunst M: Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 36, Empfehlungen zur sicheren Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik, Bonn, 2003, ISBN 3-437-22177-9

1.2 Niederfrequente Felder
(Low-frequency fields)

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hertz (Hz) bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Köperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der Körperbehaarung, die einen relativ hohen elektrischen Widerstand hat. Dadurch wird eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 $^{2}/_{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. BImSchV (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder; gültig seit 1. Januar 1997) sind die Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen geregelt (Tabelle 1.2-1). Sie sind abgeleitet von der Begrenzung der im menschlichen Körper induzierten elektrischen Stromdichte auf 2 mA/m^2, was der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht. Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 µT begrenzt. Bisher gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für gesundheitsschädigende Effekte auf Grund einer Exposition durch magnetische Wechselfelder unterhalb von 100 µT.

Frequenz-bereich	elektrische Feld-stärke (kV/m)	magnetische Fluss-dichte (µT)
16 2/3 Hz	10	300
50 Hz	5	100

Tabelle 1.2-1

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

(Limit values for fixed low-frequency installations - 26th BImSchV)

In der Öffentlichkeit wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei chronischer Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen. Vor allem der Zusammenhang zwischen der Exposition durch niederfrequente Magnetfelder und einem erhöhten Leukämierisiko für Kinder steht hier im Vordergrund. Eine Voraussetzung für die Entstehung von Krebs ist die Schädigung des Erbguts, der DNS (Desoxyribonukleinsäure). Substanzen, die solche Schäden hervorrufen, bezeichnet man als genotoxisch. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft wirken niederfrequente Felder nicht genotoxisch. In zahlreichen Zell- und Tierstudien wurde untersucht, ob niederfrequente Magnetfelder einen indirekten Einfluss auf den Verlauf (Promotion) von Krebserkrankungen haben, indem sie Schädigungen der DNS begünstigen oder die Entwicklung der Krankheit beschleunigen. Die Bewertung der Studien ergibt, dass bislang kein solcher Einfluss nachgewiesen werden kann.

Im Jahr 2001 wurde eine epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von > 0,4 Mikrotesla (µT) bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte (Epidemiologische Studie zu einer möglichen Assoziation zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von Leukämien im Kindesalter - sogenannte Michaelis-Studie). Dieser Expositionswert wurde allerdings in nur bei 3 von 514 in die Studie aufgenommenen, an Leukämie erkrankten Kindern und in der Vergleichsgruppe bei 3 von 1301 nicht erkrankten Kinder erreicht. Falls eine erhöhte Magnetfeldexposition tatsächlich eine der möglichen Ursachen für diese Krankheit ist und man die quantitativen Ergebnisse dieser Studie zu Grunde legt, könnte dieser Zusammenhang bei etwa 1% der kindlichen Leukämiefälle eine Rolle spielen.

Die Ergebnisse dieser epidemiologischen Studie bestätigten sich in weiteren gleichgearteten epidemiologischen Studien. Da epidemiologische Studien zwar einen statistischen Zusammenhang, aber keine Ursachen-Wirkungsbeziehung aufzeigen können, werden diese epidemiologischen Studien über einen möglichen Zusammenhang zwischen kindlicher Leukämie und einer Magnetfeldexposition als wissenschaftlich begründeter Verdacht gewertet und erfordern eine weitere intensive wissenschaftliche Suche nach möglichen Zusammenhängen. Auf Grund der vorliegenden Befunde aus epidemiologischen Untersuchungen hat die WHO niederfrequente Magnetfelder wie auch Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase als möglicherweise krebserregend eingestuft.

Im Rahmen einer Studie, die im Zeitraum von Mai 1996 bis Juni 1997 zur „Erfassung der niederfrequenten magnetischen Exposition der Bürger in Bayern“ im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen durchgeführt wurde, zeigte sich, dass die tatsächliche Exposition der Bevölkerung im Mittel unter 0,2 µT und damit Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV (s. Tabelle 1.2-1) liegt, so dass eine dauerhafte Exposition in der Nacht mit 0,4 µT und mehr, wie in der Michaelis-Studie angegeben, ein eher seltenes Ereignis darstellt.

1.3 Hochfrequente Felder *(High-frequency fields)*

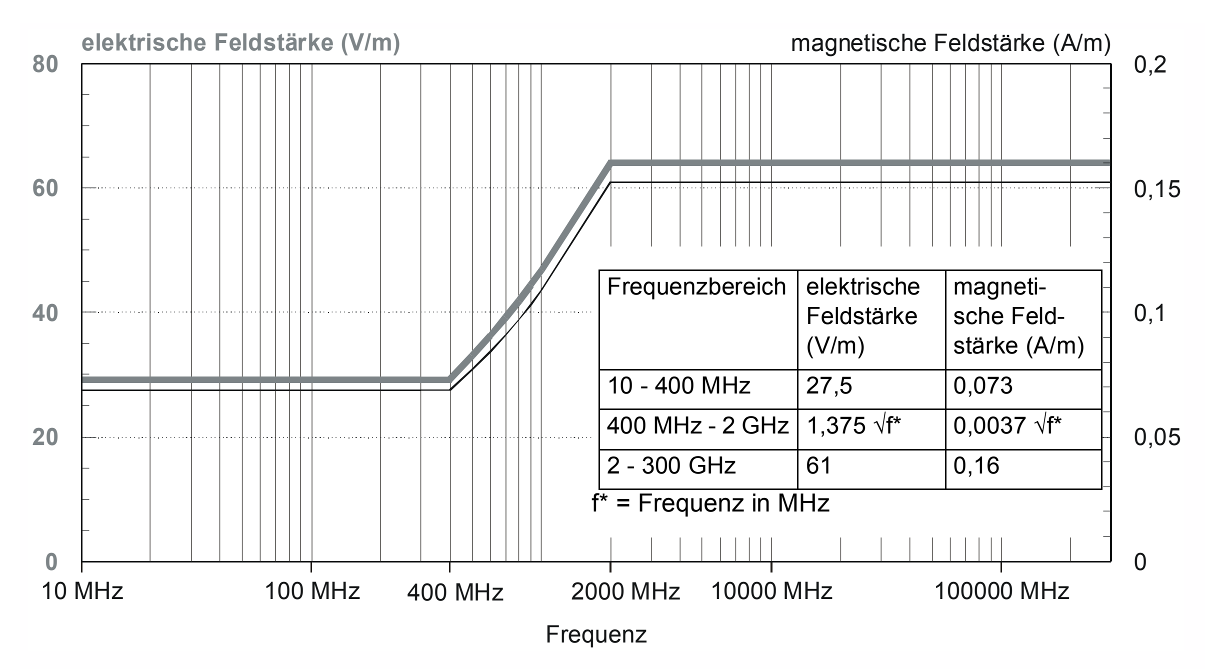
Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung für Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der geltenden Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). In der Medizin wird dieser Effekt z. B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken genutzt (Hyperthermie).

Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT finden hochfrequente Felder zur Anregung des Kernspin-Systems ihre Anwendung.

Die Bewertung der wissenschaftlichen Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte zeigt, dass ausschließlich die Gewebeerwärmung (thermischer Effekt) eine nachgewiesene Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder ist. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als 1 °C konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden. Somit ist der Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die Gewebeerwärmung.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Für die Extremitäten liegt der Teilkörpergrenzwert bei 4 W/kg. Damit werden nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nachgewiesene gesundheitliche Gefahren ausgeschlossen.

Aus den zulässigen SAR-Werten können die maximal zugelassenen Feldstärkewerte z. B. in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen abgeleitet werden. Diese sind rechtlich in der 26. BImSchV (Abb. 1.3-1) für gewerblich genutzte Sendeanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt (W) und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz; entspricht 300.000 MHz) verankert.



Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 - 400 MHz	27,5	0,073
400 MHz - 2 GHz	1,375 √f*	0,0037 √f*
2 - 300 GHz	61	0,16

Abbildung 1.3-1 Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high-frequency installations)

Zur Einhaltung dieser Grenzwerte wird in dem Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BnetzA; www.bundesnetzagentur.de) auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) ein vom Anlagenbetreiber einzuhaltender standortbezogener Sicherheitsabstand festgelegt.

Die Bundesnetzagentur stellt auf Ihren Internetseiten seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung (http://emf.bundesnetzagentur.de/gisinternet/index.aspx?User=1000&Lang=de). Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilt hat, möglich. Darüber hinaus bildet sie eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Die Messorte werden von der Bundesnetzagentur und den Landesumweltministerien festgelegt. Im Rahmen der EMF - Messreihe der Bundesnetzagentur kann jedes Landesumweltministerium eine bestimmte Anzahl von Messorten frei wählen. Die BNetzA übernimmt die Standortauswahl der Länder unverändert und führt die Messung durch. Die Bundesnetzagentur trifft die Auswahl ihrer Messorte nach den folgenden Kriterien:

- Nähe zu ortsfesten Funkanlagen (z. B. Rundfunksender, Betriebsfunkanlagen, Mobilfunkanlagen etc.),
- öffentliche Wege und Plätze,
- Bereiche von besonderem Interesse (z. B. Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser usw.) und
- Messorte, an denen bei früheren Messungen der BNetzA eine vergleichsweise hohe Ausschöpfung der Grenzwerte festgestellt wurde (dies trifft insbesondere für Messorte im direkten Umfeld von Rundfunksendern zu).

Der Qualitätsmaßstab für die in der EMF-Datenbank enthaltenen Messungen ist die Messvorschrift der Regulierungsbehörde. Diese Messvorschrift wurde mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Damit steht für den gesamten von Funkanlagen genutzten Frequenzbereich (9 Kilohertz bis 300 Gigahertz) ein einheitlicher und verbindlicher Maßstab für die messtechnische Bewertung der Gesamtimmissionen zur Verfügung. In die EMF-Datenbank der BNetzA können Messungen von Dritten nur aufgenommen werden, wenn sie dem Qualitätsmaßstab entsprechen, von den Umweltministerien der Länder beauftragt und an die BNetzA weitergeleitet wurden.

Während der thermische Effekt unumstritten ist, werden die sogenannten nicht-thermischen Effekte von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Verschiedene nicht-thermische Effekte wie z. B. Veränderungen in der Ionenpermeabilität der Zellmembranen wurden an einzelnen Zellen und Zellkulturen beschrieben. Die Ergebnisse des in 2008 abgeschlossenen Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms zeigten im Konsens mit dem internationalen wissenschaftlichen Kenntnisstand, dass die Hinweise auf biologische Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder unterhalb der geltenden Grenzwerte wissenschaftlich nicht bestätigt werden. Offen sind jedoch Fragen zu möglichen Langzeitwirkungen ab Nutzungszeiten über 10 Jahren und ob Kinder empfindlicher und anderen Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgesetzt sind als Erwachsene.

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich aus diesem Grund für die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen ein, die sich auf die Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder, auf Information der Bevölkerung und auf die Koordinierung weiterführender Forschung beziehen.

1.4 Optische Strahlung
(Optical radiation)

Die optische Strahlung gliedert sich in drei Bereiche: die ultraviolette Strahlung (UV), das für den Menschen sichtbare Licht (VIS) und die Infrarotstrahlung (IR). Die ultraviolette (UV-) Strahlung, die den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm umfasst, ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung. Sie grenzt unmittelbar an den Bereich der ionisierenden Strahlung an. Die UV-Strahlung wird in grober Anlehnung an unterschiedliche biologische Wirkungen in die drei Bereiche UV-A (Wellenlänge 400 - 315 nm), UV-B (Wellenlänge 315 - 280 nm) und UV-C (Wellenlänge 280 - 100 nm) unterteilt. Die UV-Strahlung ist für den Menschen nicht sichtbar und kann auch nicht mit anderen Sinnesorganen wahrgenommen werden. An den Bereich des sichtbaren Lichts mit Wellenlängen von 400 nm bis 780 nm schließt die IR-Strahlung mit Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm an.

UV- und IR-Strahlung haben für Mensch und Natur sowohl positive als auch negative Aspekte. Auf Grund der nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken ist ein vernünftiger und umsichtiger Umgang mit dieser Strahlung notwendig.

1.4.1 UV-Strahlung
(UV-radiation)

Die wichtigste natürliche UV-Strahlenquelle ist die Sonne. Ihr UV-Anteil am Erdboden variiert in hohem Maße und ist vornehmlich vom Sonnenstand (geographische Breite, Tages- und Jahreszeit), vom Gesamtozongehalt der absorbierenden Luftschicht und der Bewölkung abhängig.

Die UV-Strahlung wird im Wesentlichen durch das Ozon in der Stratosphäre und Troposphäre absorbiert. Diese Filterfunktion ist für die UV-Strahlung stark wellenlängenabhängig und setzt bei ca. 330 nm ein. Mit kleiner werdender Wellenlänge fällt die UV-Bestrahlungsstärke sehr stark ab (sogenannte UV-B-Kante). Unterhalb von ca. 290 nm ist die spektrale UV-Bestrahlungsstärke (UV-C-Strahlung) an der Erdoberfläche selbst im Sommer in unseren Breitengraden nicht mehr nachweisbar.

Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum einen der Betrag der spektralen Bestrahlungsstärke. Zum anderen verschiebt sich die UV-B-Kante zu kürzeren Wellenlängen hin, d. h. zusätzliche sehr energiereiche UV-Strahlung erreicht den Erdboden. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, können auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial haben.

Neben dem positiven Aspekt der durch UV-B-Strahlung angeregten Vitamin-D_3-Synthese kann UV in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Intensität der Strahlung zahlreiche gesundheitliche Wirkungen vor allem im Auge und in der Haut auslösen. Bei übermäßiger UV-Bestrahlung können als akute Schäden Sonnenbrände, Entzündungen im Auge sowie allergische Reaktionen von unterschiedlichem Schweregrad auftreten. Die langfristigen Schäden durch die Bestrahlung mit UV können diverse Hautkrebserkrankungen (Plattenzellenkarzinom, Basalzellkarzinom, schwarzer Hautkrebs (malignes Melanom)), ein vorzeitiges Altern der Haut sowie die Trübung der Augenlinse (Katarakt) sein. Weiterhin existieren wissenschaftliche Hinweise, dass das Immunsystem durch UV-Strahlung geschwächt wird.

Die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Zunahme der Hautkrebserkrankungen, vor allem des malignen Melanoms (Schwarzer Hautkrebs), ist Besorgnis erregend. Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeitverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Ein vernünftiger „Umgang“ mit der Sonne ist geboten, um besonders das nachgewiesene Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, möglichst gering zu halten.

Darüber hinaus ist bei einer Erhöhung der erwarteten UV-Strahlung mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich im Wasser lebende Organismen durch ihre Beweglichkeit und der Mensch durch bewusst angepasstes Verhalten vor den Folgen erhöhter UV-Strahlung schützen können, ist dies für ortsfeste Landpflanzen nicht möglich. Dies erfordert auch Aufmerksamkeit für die Fragen nach den möglichen pflanzlichen Reaktionen auf UV-Strahlung, insbesondere bei Nutzpflanzen.

Solares UV-Monitoring

Seit 1993 unterhalten das BfS und das UBA ein UV-Messnetz an 4 Stationen - in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München). Zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen wurde das Messnetz in den Folgejahren zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund (BAuA), die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach (LfU Bayern) und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) mit den Messstationen in Hannover und auf der Insel Norderney. Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

In München/Neuherberg befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV-Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d. h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z. B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV-IR) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung (http://www.bfs.de/uv/uv_messnetz/uvi/messnetz.html). Von April bis September werden darüber hinaus für das nördliche, mittlere und südliche Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht (www.bfs.de/uv/uv_messnetz/uvi/prognose.html). Komplette Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner für Langzeitanalysen gespeichert.

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

Akute Wirkungen des kurzwelligen solaren UV-Anteils umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und der Hautkrebs.

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und zur Schmerzempfindung.

Ob ein Sonnenbrand auftritt, hängt zum einen von der UV-Dosis und zum anderen von der Empfindlichkeit der Haut gegenüber UV-Strahlung ab. Die Empfindlichkeit wiederum hängt im hohen Maße von der Bräunungsfähigkeit und der daraus resultierenden Pigmentierung der Haut ab. Weltweit werden sechs Hauttypen unterschieden:

Hauttyp I	hat auffallend helle Haut mit Sommersprossen, blaue Augen und rötliche Haare. Im Hochsommer bekommt er während der Mittagszeit bereits nach 5 bis 10 Minuten einen Sonnenbrand; braun wird er niemals.
Hauttyp II	hat blonde Haare, graue, blaue oder grüne Augen. Zwar rötet sich seine Haut nach 10 bis 20 Minuten, wenn sie Sonne nicht gewöhnt ist, mit der Zeit wird er aber mäßig braun.
Hauttyp III	hat dunkelblonde Haare, graue oder braune Augen. Er kann sich ungebräunt 20 bis 30 Minuten in der Sonne aufhalten, bevor ein Sonnenbrand einsetzt. Nach wiederholten Bestrahlungen wird er fortschreitend braun.
Hauttyp IV	bleibt mit seiner hellbraunen Haut weitgehend vom Sonnenbrand verschont. Er hat meist dunkle Haare und braune Augen. Wenn seine Haut nicht sonnengewöhnt ist, rötet sie sich frühestens nach 40 Minuten.
Hauttyp V	hat dunkle Haut auch in ungebräuntem Zustand, oft ein grauer Unterton; dunkle Augen; schwarzes Haar; keine Sommersprossen; wird schnell dunkelbraun, kaum Sonnenbrand; kann sich ungebräunt länger als 1 Stunde in der Sonne aufhalten; vorwiegend Ureinwohner Arabiens, Nordafrikas, Indiens; dunkle Asiaten.
Hauttyp VI	hat dunkelbraune bis schwarze Haut auch in ungebräuntem Zustand; schwarze Augen; schwarzes Haar; keine Sommersprossen; praktisch nie Sonnenbrand (nach einer sehr langen sonnenarmen Zeit kann auch dieser Hauttyp einen Sonnenbrand bekommen); kann sich ungebräunt länger als 1,5 Stunden in der Sonne aufhalten; vorwiegend Ureinwohner Zentralafrikas und Australiens

Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemwirksame Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m^2 für den Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z. B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt die Tabelle 1.4.1-1. Auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z. B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse können sensibilisierende Stoffe enthalten und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen (erythemähnlichen) Hautreaktionen führen.

Tabelle 1.4.1-1 Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe
(Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light)

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
Blankophore	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel / Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika (harntreibende Mittel)
Cyclamate	Süßstoffe
Sulfonamide	Antibiotika / Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylisatin	Abführmittel

Fototoxische Reaktionen können klinisch als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter geeigneten Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV

Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebsschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei.

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. In Deutschland liegt nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention die Neuerkrankungsrate für Hautkrebs schätzungsweise bei 135.000 pro Jahr. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird die UV-Belastung bei zunehmenden Aufenthalten im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II.

Über 90% der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs (Epidermis: äußerste Zellschicht der Haut). Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarzinomen konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Bestrahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metastasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal zerstörend wirkender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarmen auf. Als weitere Risikofaktoren kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen (durch chronische Sonnenbestrahlung hervorgerufene rötlich-braune, schuppige Hautverhornungen) hinzu.

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20%. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) hinzu.

1.4.2 Infrarotstrahlung *(Infrared Radiation)*

Infrarotstrahlung ist ein Teil der Wärmestrahlung. Die IR-Strahlung wird nach der International Commission of Illumination (CIE) und nach DIN 5031 in drei Bänder eingeteilt: IR-A mit Wellenlängen zwischen 780 und 1.400 nm, IR-B mit Wellenlängen zwischen 1.400 und 3.000 nm und IR-C mit Wellenlängen zwischen 3.000 und 1.000.000 nm. Im angloamerikanischen Raum sowie bei der Spezifikation von Erderkundungskameras wird häufig auch die Einteilung in nahes Infrarot mit 780 nm bis 1.400 nm, kurzwelliges Infrarot mit 1,4 Mikrometer (µm) bis 3 µm, mittleres Infrarot mit Wellenlängen von 3,0 µm bis 8 µm, langwelliges Infrarot mit Wellenlängen von 8 bis 15 µm und fernes Infrarot mit 15 µm bis 1 mm Wellenlängen genutzt.

IR-Quellen

Die wichtigste natürliche Quelle für IR-Strahlung ist die Sonne. IR-Strahlung hat einen Anteil von 50% an der Sonnenstrahlung, die den Erdboden erreicht. Außerdem gibt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erde IR-Strahlung ab.

Die Absorption der Strahlung durch die in der Atmosphäre enthaltenen natürlichen und künstlichen Gase wie Wasser, Kohlendioxid, Ozon, Methan und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) führt zur zusätzlichen Erwärmung der Erde. Dieser Prozess ist für den Wärmehaushalt der Erde von entscheidender Bedeutung.

Die Entdeckung bzw. der Nachweis der IR-Strahlung gelang dem deutschen Astronomen William Herschel erstmalig im Jahre 1800, als er das Sonnenlicht mit einem Prisma spektral zerlegte und dabei jenseits des roten, d. h. langwelligsten Bereichs des sichtbaren Lichts eine nicht sichtbare aber wärmende Strahlung feststellte. Die Fähigkeit zur Erwärmung von Stoffen dient auch heute noch zum Nachweis der Infrarotstrahlung. Mit Hilfe von sog. Infrarotkameras ist es möglich, Infrarotstrahlung sichtbar zu machen.

Anwendung der Infrarotstrahlung

Die Anwendung von Infrarotstrahlung ist vielfältiger Natur. Infrarotkameras können z. B. zur berührungslosen Temperaturmessung verwendet werden. Bekannter ist deren Einsatz als so genannte Nachtsichtgeräte. Infrarot-Leuchtdioden können z. B. in optischen Brandmeldern Wärme erkennen. Es existieren auch Infrarot-Heizsysteme. Für Wärmebehandlungen in der Industrie werden Infrarotöfen eingesetzt, z. B. für Trocknungsprozesse oder zur Kunstharz-Polymerisation. In der Elektronik wird IR-Strahlung für die drahtlose Kommunikation eingesetzt. Infrarotfernbedienungen, Infrarotschnittstellen für Computer und Lichtschranken arbeiten im Wellenlängenbereich zwischen 880 und 950 nm, da in diesem Bereich Fotodioden und Fototransistoren die höchste Empfindlichkeit aufweisen. In der Medizin aber auch im Wellness-Bereich, z. B. in Infrarot-Wärmekabinen werden zur Wärmebehandlung des menschlichen Körpers IR-Bestrahlungslampen eingesetzt.

Wirkung von Infrarotstrahlung

IR-Strahlung wird von der Körperoberfläche aufgenommen und dringt je nach Wellenlänge unterschiedlich tief in das Gewebe ein. Nahes Infrarot (IR-A; 780 - 1400 nm) dringt tief in das Auge und unter die Haut ein, während Mittleres Infrarot (MIR) bereits an der Oberfläche der Haut und der Hornhaut des Auges absorbiert wird. Durch Wärmeleitung kann auch eine Erwärmung tiefer gelegener Körperschichten erfolgen.

Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität wird als angenehm empfunden. Eine unbestritten positive Wirkung ist die Wärmewirkung, auf Grund dessen die IR-Strahlung z. B. in der Medizin zur Förderung der Durchblutung und Lösen von Muskelverkrampfungen eingesetzt wird.

Höhere Intensitäten der IR-Strahlung sind jedoch mit gesundheitlichen Gefahren verbunden. Die körpereigenen Thermo- und Schmerzrezeptoren stellen nur in begrenztem Umfang einen effektiven Schutzmechanismen dar. Hohe thermische Belastungen durch IR-Strahlung können zu Störungen im Wärmehaushalt des Gesamtorganismus führen. Die mildeste Folge einer thermischen Überbeanspruchung ist der Hitzekrampf, eine Muskelverkrampfung, die durch einen Verlust von Körpersalzen infolge verstärkten Schwitzens zustande kommt. Durch rechtzeitiges Trinken salzhaltiger Getränke kann ein Hitzekrampf vermieden werden. Häufigste Ursache für gesundheitliche Schäden durch IR-Strahlung im Alltag ist eine zu lange und intensive Sonnenbestrahlung. Ein Sonnenstich z. B. kann auftreten, wenn besonders der ungeschützte Kopf und der Nacken längere Zeit der Sonne ausgesetzt werden. Kinder sind besonders empfindlich. Ausgedehnte Sonnenbäder sind zusätzlich zum gesundheitlichen Risiko der UV-Strahlung deshalb auch aus diesem Grund nicht zu empfehlen. Bei längerem Aufenthalt in der Sonne sollte in jedem Fall auf leichte, luftige Kleidung und eine Kopfbedeckung geachtet werden, die Luftzirkulation ermöglichen.

Steigt die Temperatur im Körperinneren (Kerntemperatur) auf ca. 40° C, kommt es durch die Erweiterung oberflächennaher Blutgefäße zu einem Blutdruckabfall mit Mangeldurchblutung des Gehirns und Bewusstlosigkeit (Hitzekollaps). Die gefährlichste Wirkung von IR-Strahlung ist der Hitzschlag. Dabei führt ein Anstieg der Kerntemperatur auf über 41° C zu einem Kreislaufkollaps. Auf Grund der hohen Temperatur können dabei alle Organe thermisch geschädigt werden.

Nahes Infrarot hoher Intensität (Laserstrahlung) ist besonders gefährlich für Augen und Haut, da der kurzwellige IR-Anteil (IR-A) im Auge unbemerkt bis zur Netzhaut gelangt, dort fokussiert wird und irreversible Schäden verursacht. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden (z. B. „Glasbläserstar“). In der Haut kann IR-Strahlung in Regionen absorbiert werden, in denen sich keine Temperatursensoren befinden. Dadurch können in der Haut unbemerkt Schäden verursacht werden. Eine Bestrahlung der Haut kann hier bereits nach sehr kurzer Zeit zu Verbrennungen führen.

Neben diesen akut auftretenden gesundheitlichen Schäden sind bei chronischer IR-Bestrahlung und gleichzeitiger UV-Strahlung weitere Hautschädigungen möglich. Diskutiert wird eine Beteiligung der IR-Strahlung an der beschleunigten Hautalterung, als deren Hauptverursacher die UV-Strahlung gilt. Außerdem gibt es Hinweise, dass IR-Bestrahlung in Verbindung mit UV-Bestrahlung kanzerogen wirken kann. DNS-Schäden, die durch die UV-Strahlung gesetzt werden, können z. B. schlechter repariert werden oder die geschädigten Zellen werden weniger effektiv durch die körpereigenen Mechanismen beseitigt. Zellen mit nicht-reparierten DNS-Schäden können Vorstufen von Krebszellen darstellen. Diese Fragen werden zurzeit in der wissenschaftlichen Forschung bearbeitet.

1.5 Grenzwerte
(Limit values)

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden unter Berücksichtigung internationaler Erkenntnisse Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Kontinuierlich durchgeführte Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zeigen zum einen, dass Gesundheitsschäden bei Einhaltung der Grenzwerte nicht nachgewiesen werden können. Zum anderen gibt es Hinweise auf eine begünstigende Wirkung kindlicher Leukämie durch niederfrequente Felder unterhalb der gültigen Grenzwerte. Nationale wie internationale Organisationen, wie z. B. die SSK, empfehlen deshalb, dass weiterhin Forschung betrieben werden muss, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können.

Sowohl im niederfrequenten wie im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Zur Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird im Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die BNetzA nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften ein vom Anlagenbetreiber einzuhaltender standortbezogener Sicherheitsabstand festgelegt. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Für den Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch UV-Strahlung gibt es keine Grenzwerte. Es sind jedoch Werte der erythemwirksamen Schwellenbestrahlung, bei deren Überschreitung mit einem Sonnenbrand zu rechnen ist bekannt. Diese liegt bei Hauttyp II bei einem Wert von 250 J/m^2 (schädigende UV-Strahlendosis pro m^2 Haut).



Aktuelle Themen im Bereich Nichtionisierende Strahlung finden Sie in Teil B - VI.

TEIL B
AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürliche Umweltradioaktivität
(Natural environmental radioactivity)

Die natürliche Strahlenexposition in Deutschland zeigt große regionale Unterschiede. Diese sind bedingt durch die unterschiedlichen Gehalte des Erdbodens an Uran, Thorium und K-40 (terrestrische Strahlung), durch die unterschiedliche Meereshöhe (kosmische Strahlung), durch die unterschiedlichen Konzentrationen des radioaktiven Edelgases Radon in der Atemluft und die regional unterschiedliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung und dem Trinkwasser. Dies führt, wie in Teil A - I erläutert, insgesamt zu einer jährlichen Exposition von etwa 2 bis 3 mSv. Gegenüber den regionalen Schwankungen sind die Unterschiede der Exposition von Jahr zu Jahr gering. Im Berichtsjahr wurden keine Untersuchungen durchgeführt, die die natürliche Komponente der Strahlenexposition weiter differenzieren.

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität
(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie
(Relics and residues of mining and industry)

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft bzw. mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Emissions- und Immissionssituation in den betroffenen Regionen gegeben, der auf ausgewählten Daten aus der Umweltüberwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht.

Detailinformationen über die Sanierungstätigkeit und die Ergebnisse der Umweltüberwachung geben die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

2.1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft[1] und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen)
(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH)

In Tabelle 2.1.1-1 sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2009 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen und kontinuierlich abnehmen. Der 2009 zu verzeichnende leichte Anstieg der Rn-222-Ableitungen ist auf erhöhte Ableitungen am Standort Schlema/Alberoda zurückzuführen.

In Tabelle 2.1.1-2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2008 und 2009 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieben in den beiden Jahren insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Während in Dresden-Gittersee die Ableitungen auf dem Niveau des Vorjahres liegen und sich in Königstein verringert haben, hat sich am Standort Schlema/Alberoda die Jahresableitung an Radon gegenüber dem Vorjahr leicht um etwa 10% erhöht. An den Thüringer Standorten Ronneburg, Seelingstädt und im sächsischen Pöhla konnten die Ableitungen völlig eingestellt werden. Die gesamten Ableitungen sowohl von Rn-222 als auch der langlebigen α-Strahler werden fast ausschließlich von den Standorten Schlema/Alberoda und Königstein verursacht.

Tabelle 2.1.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2009 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2009 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Fortluftmengen in 10^9 m^3/a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1.201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)

[1] Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint

Zeitraum	Fortluftmengen in 10^9 m^3/a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)
2006	6,2	80,3	(268,0)	6,53	(78,3)
2007	5,0	65,2	(269,0)	5,4	(78,4)
2008	3,6	92,9	(267,6)	4,9	(77,8)
2009	3,1	98,8	(267,6)	3,1	(77,8)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre in 2008 und 2009 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2008 and 2009 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10^9 m^3/a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008
Schlema/Alberoda	1	2	1,39	1,41	95 (100)	85 (100)	1,4 (5,7)	2,6 (5,7)
Dresden-Gittersee	1	1	0,11	0,12	0,09 (1,6)	0,10 (1,6)	0,04 (1,6)	-** (1,6)
Königstein	2	3	1,6	2,1	3,7 (166)	6,2 (166)	1,7 (70,5)	2,3 (70,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

** Emissionen mit Konzentrationen unter der Nachweisgrenze wurden nicht bilanziert

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in Tabelle 2.1.1-3 zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten. Die Abwassermenge ist wegen der im Vergleich zum Trockenjahr 2008 erhöhten Niederschlagsmengen im Jahr 2009 leicht angestiegen. Dies hat insbesondere infolge der hohen Abflussmengen bei der Schneeschmelze in Verbindung mit der starken Beanspruchung der Wasserbehandlungsanlagen auch zur geringfügig höheren Freisetzung von Radionukliden geführt.

Im Vergleich zum Vorjahr erhöhte sich 2009 die Menge des insgesamt abgeleiteten Ra-226 und Uran leicht, jedoch mit unterschiedlicher Entwicklung an den einzelnen Betriebsteilen, siehe Tabelle 2.1.1-4. Die gegenüber dem Jahr 2008 erhöhten Ableitungen in Weiße Elster, Pleiße und Elbe sind auf die witterungsbedingt gestiegenen Mengen und auf teils veränderte Herkunft und chemische Zusammensetzung der zu reinigenden Wässer in Königstein (Elbe) zurückzuführen. Nach Inbetriebnahme einer neuen Anlage zur Sickerwasserbehandlung im Raum Schlema konnte die in die Zwickauer Mulde eingeleitete Uranmenge gesenkt werden. Auch die Radiumeinleitungen in die Weiße Elster verringerten sich. Die geringen Ableitungen im Betriebsteil Pöhla konnten vollständig mit Hilfe der biologischen Wasserreinigungsanlage aufbereitet werden.

Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin gewissen Schwankungen unterliegen wird und sich nicht genau steuern lässt, da es stark durch die meteorologischen Verhältnisse geprägt wird.

Die Genehmigungswerte wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhla: 20 m^3/h, Königstein: 650 m^3/h, Ronneburg: 750 m^3/h, Seelingstädt: 300 m^3/h) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhla: 0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Ra-226/l, WBA Ronneburg: 0,1 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Ra-226/l) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein 0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq Ra-226/l, Seelingstädt: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Ra-226/l) errechnet.

Tabelle 2.1.1-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2009 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters during the period from 1998 to 2009 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Abwassermenge in 10^6 m^3/a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Uran in t/a*		Ra-226 in GBq/a*	
1998	14,7	3,8	(12,8)	4,8	(14,8)
1999	14,7	3,8	(9,4)	2,7	(13,6)
2000	16,1	4,1	(11,3)	3,6	(15,4)
2001	14,3	2,8	(13,1)	0,7	(16,7)
2002	18,4	4,5	(8,4)	0,8	(7,0)
2003	14,6	3,1	(8,2)	0,3	(6,8)
2004	13,9	2,8	(8,2)	0,2	(6,7)
2005	14,8	2,2	(8,0)	0,3	(6,7)

Zeitraum	Abwassermenge in 10^6 m^3/a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Uran in t/a*		Ra-226 in GBq/a*	
2006	16,3	2,4	(9,0)	0,3	(7,9)
2007	19,2	3,1	(9,0)	0,4	(8,2)
2008	20,2	3,0	(9,1)	0,3	(8,4)
2009	20,9	3,2	(9,5)	0,4	(8,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2008/2009 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the years 2008/2009 - Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge in 10^6 m^3/a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	8,488 (-)	8,858 (-)	2,170 (6,294)	2,230 (5,939)	0,196 (4,302)	0,1267 (4,3110)
Schlema/Alberoda	7,377 (-)	7,701 (-)	1,999 (6,259)	2,061 (5,904)	0,184 (4,249)	0,1240 (4,2580)
Crossen	0,993 (-)	1,030 (-)	0,169 (-)	0,167 (-)	0,012 (-)	0,0025 (-)
Pöhla	0,118 (-)	0,127 (-)	0,002 (0,035)	0,002 (0,035)	0,0001 (0,053)	0,0002 (0,0530)
ELBE (SACHSEN)	4,455 (5,689)	4,172 (5,885)	0,231 (1,708)	0,119 (1,713)	0,155 (2,278)	0,1210 (2,2840)
Königstein	4,455 (5,689)	4,172 (5,885)	0,231 (1,708)	0,119 (1,713)	0,155 (2,278)	0,1210 (2,2840)
PLEISSE (THÜRINGEN)	0,165 (0,400)	0,082 (0,150)	0,020 (0,040)	0,006 (0,015)	0,004 (0,030)	0,0016 (0,0300)
Ronneburg	0,165 (0,400)	0,082 (0,150)	0,020 (0,040)	0,006 (0,015)	0,004 (0,030)	0,0016 (0,0300)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	7,753 (9,200)	7,618 (9,073)	0,729 (1,446)	0,668 (1,435)	0,069 (1,84)	0,0854 (1,815)
Ronneburg (WBA)	5,523 (6,570)	5,410 (6,438)	0,341 (0,657)	0,386 (0,644)	0,055 (1,314)	0,0626 (1,2880)
Seelingstädt	2,230 (2,630)	2,208 (2,635)	0,388 (0,789)	0,282 (0,791)	0,014 (0,5260)	0,0228 (0,5270)

* Genehmigungswerte in Klammern

2.1.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen)

(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities)

Im Folgenden werden die Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft und die Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern betrachtet, die durch die Sanierungstätigkeiten der Wismut GmbH beeinflusst werden können.

Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

Zur Überwachung der Luft werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau)“ Messstellen zur Ermittlung der Rn-222-Konzentration der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen über die dafür vorgesehenen technischen Einrichtungen wie z. B. Lüfter; sie dienen auch zur Erfassung der aus diffusen Freisetzungen, beispielsweise aus Haldenoberflächen, resultierenden Umweltkontamination sowie zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind alle genannten Prozesse von Bedeutung. Die freigesetzte Rn-222-Menge aus den in industriellen Absetzanlagen und Halden deponierten Materialien kann dabei in der Größenordnung der jährlichen Ableitungsmengen nach Tabelle 2.1.1-2 liegen.

In Tabelle 2.1.2-1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2008/2009 bis Sommer 2009 zusammengefasst. Die teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration resultieren aus der Lage einiger Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen.

Tabelle 2.1.2-1 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2008/2009 und Sommer 2009; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2008/2009 and summer 2009; Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Rn-222-Konzentrationen			Maximum in Bq/m^3
		≤ 30 Bq/m^3	31 - 80 Bq/m^3	> 80 Bq/m^3	
Winter 2008/2009					
Schlema/Alberoda	68	22	42	4	190
Pöhla	5	5	0	0	17
Seelingstädt	24	21	3	0	77
Crossen	36	30	6	0	41
Königstein	8	8	0	0	17
Gittersee	9	9	0	0	21
Ronneburg	33	33	0	0	26
Sommer 2009					
Schlema/Alberoda	71	25	31	15	300
Pöhla	5	4	1	0	36
Seelingstädt	24	20	4	0	71
Crossen	33	22	11	0	63
Königstein	8	7	1	0	32
Gittersee	9	8	1	0	41
Ronneburg	30	27	3	0	32

In Tabelle 2.1.2-2 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich *nicht* beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die an diesen Messstellen ermittelten Rn-222-Konzentrationen repräsentieren den lokalen natürlichen Konzentrationspegel der jeweiligen Bergbaugebiete und können deshalb als Vergleichswerte herangezogen werden.

Tabelle 2.1.2-2 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2009 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities - mean values 1991 - 2009 and range of variation of the mean values for the individual years; Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Winter (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m^3)			Sommer (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m^3)		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2009	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2009
Schlema/Alberoda	21	40	28	22	39	32
Pöhla *	14	35	20	18	29	24
Seelingstädt	11	39	23	15	37	25
Crossen	15	35	25	17	37	25
Königstein	11	31	19	13	36	25
Gittersee	16	33	25	23	46	33
Ronneburg	12	40	24	16	37	27

* Im Gebiet Pöhla wurden mit Abschluss der wesentlichen Sanierungsarbeiten die Messungen an bergbaulich unbeeinflussten Messstellen im Winterhalbjahr 2005/06 eingestellt

Entsprechend der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau)“ wurden von unabhängigen Messstellen im Auftrag der jeweiligen zuständigen Landesbehörde zusätzlich Kontrollmessungen an ausgewählten Messpunkten des von der Wismut GmbH betriebenen Messnetzes zur Überwachung der

Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten überein.

Auch durch das Bundesamt für Strahlenschutz wurden seit 1991 in den Bergbaugebieten umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Freiluft durchgeführt.

Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Konzentrationswerten von 5 bis 15 Bq/m^3 liegen, aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Messtechnisch nachweisbare, bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten vor allem in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Die Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung aus solchen Hinterlassenschaften ist weiterhin eines der Ziele der Wismut-Sanierung.

Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern

Die Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen wird in allen Oberflächengewässern durchgeführt, in die radioaktive Ableitungen erfolgen. Zur Ermittlung des bergbaulichen Einflusses werden die Immissionsmessungen der Wismut GmbH an Messstellen vor und nach der betrieblichen Einleitung vorgenommen.

In wichtigen Vorflutern wurden die in Tabelle 2.1.2-3 angegebenen Werte bestimmt. In den übrigen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Tabelle 2.1.2-3 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete in 2008 und 2009 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2008 and 2009 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probennahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2009	2008	2009	2008
Sächsische Bergbaugebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,017	0,019	< 10	19
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,050	0,050	11	15
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,001	11	18
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,018	0,013	18	18
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,068	0,060	14	17
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	12	12
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,009	0,011	14	12
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	< 0,001	< 0,001	< 10	11
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165	0,021	0,025	17	14
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,007	0,008	14	13
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,008	0,009	13	14
	Helmsdorfer Bach	M-204	0,160	0,160	15	15
	Zinnborn	M-232	0,240	0,210	98	101
Thüringer Bergbaugebiete						
Seelingstädt	Weiße Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,001	0,002	10	10
	Weiße Elster nach Einmündung Pöltschbach	E-314	0,004	0,005	10	10
	Lerchenbach	E-369	0,130	0,110	10	10
	Fuchsbach unterhalb IAA (Industrielle Absetz-Anlagen)	E-383	0,034	0,039	11	10
	Weiße Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,007	0,005	10	< 10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,042	0,046	18	18
	Sprotte	s-609	0,004	0,004	10	< 10
	Wipse	e-437	0,035	0,039	12	12
	Weiße Elster	e-419	0,005	0,005	10	10

Die im Jahr 2009 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weiße Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 12 mBq/l für Ra-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht und beinhalten mit den ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gelegenen Messpunkten g-0076 und M-201 auch den Einfluss lokaler geologischer Besonderheiten oder des Altbergbaus.

In kleineren Bächen, die eine geringe Wasserführung aufweisen, wird das o. a. geogene Niveau im Unterlauf von Wismut-Einleitungen bei Ra-226 etwa bis zum Faktor 3 überschritten und reicht von Werten unter der Nachweisgrenze (<10 mBq/l) bis zu 98 mBq/l, während es bei Uran um etwa zwei Größenordnungen erhöht ist und Werte zwischen 4 und 240 µg/l aufweist (vgl. Messpunkte k-0018, k-0024, g-0077, m-165, M-204, M-232, E-369, E-383, e-416, s-609 und e-437).

Diese kleinen Bäche unterliegen stark dem Einfluss der Sanierungsarbeiten und der Witterung und weisen daher jährliche Schwankungen auf.

In den großen Vorflutern wurden an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 im Unterlauf von Wismut- Ableitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber dem o. a. geogenen Niveau bis etwa zum Dreifachen erhöht sind (1 - 9 µg/l). Mit Werten von 10 - 14 mBq/l liegen die Ra-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen im Bereich des o. a. geogenen Niveaus.

Aus der Sicht des gesundheitlichen Strahlenschutzes stellen die infolge von radioaktiven Ableitungen der Wismut GmbH erhöhten Werte der Urankonzentration und der Ra-226-Aktivitätskonzentration weder in den Bächen noch in den Vorflutern Zwickauer Mulde, Elbe, Pleiße und Weiße Elster ein Problem dar, da deren Wasser nicht für Trinkwasserzwecke genutzt wird und somit keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen.

2.2 Radon in Gebäuden
(Radon in buildings)

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden in den vergangenen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m^3. Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in den Räumen von ca. 19 Stunden pro Tag einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. In Einzelfällen wurden Höchstwerte von bis zu 10.000 Bq/m^3 festgestellt. Bereits bei Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% pro 100 Bq/m^3. Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und der Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist.

Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse an insgesamt 2.346 Messpunkten wurde eine bundesweite Übersichtskarte der regionalen Verteilung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft erstellt (siehe Abbildung 2.2-1).

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft einen Bereich von ca. 5 kBq/m^3 bis 1.000 kBq/m^3 überstreichen. Lokal hängt die Höhe vom jeweiligen geologischen Untergrund ab. In ca. 30% der Fläche Deutschlands und davon überwiegend in Gebieten der Norddeutschen Tiefebene liegt die Bodenluftkonzentration im Bereich unterhalb von 20 kBq/m^3. Werte über 100 kBq/m^3 sind nur in einigen eng begrenzten Gebieten zu erwarten. Diese sind in der Regel durch das Vorkommen von Graniten oder granitähnlichen Gesteinen nahe der Erdoberfläche gekennzeichnet.

In Gebieten mit Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft bis 20 kBq/m^3 sind Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen über 100 Bq/m^3 selten. Grundsätzlich kann in diesen Gebieten davon ausgegangen werden, dass ein fachgerechter Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte nach dem Stand der Technik ausreichend Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäude bietet.

Bei Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft von mehr als 20 kBq/m^3 und in Abhängigkeit von der Bauweise und dem Bauzustand sind erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden häufiger zu erwarten. Überdurchschnittlich häufig werden erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern älteren Baujahres gefunden, insbesondere dann, wenn die Häuser keine Fundamentplatte oder Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdberührten Bereich aufweisen. Infolge der Geologie des Bauuntergrundes können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter auftreten. In den Regionen mit einer Bodenluftkonzentration von mehr als 20 kBq/m^3 sind Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind Maßnahmen zur Begrenzung des Radoneintritts aus dem Boden in das Gebäude in Betracht zu ziehen, deren Umfang sich an den Standortbedingungen orientieren sollte. Insbesondere bei Radonkonzentrationen in der Bodenluft von über 100 kBq/m^3 ist auch bei neu errichteten Gebäuden ohne Radonschutzmaßnahmen häufig mit Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 zu rechnen. Tabelle 2.2-1 zeigt die auf der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft beruhende Abschätzung (Stand 2007) der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen oberhalb von 100 Bq/m^3.

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter in die Gebäude gelangen. In diesen Fällen werden die eindringende Radonmenge und die daraus resultierende Radonkonzentration meist von der Bewetterung der untertägigen Hohlräume beeinflusst. In Häusern von Bergbaugebieten wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über 100.000 Bq/m^3 gemessen. Werden Jahresmittelwerte der Radonkonzentration von über 100 Bq/m³ Luft in Aufenthaltsräumen ermittelt, ist generell die Durchführung geeigneter Maßnahmen zu empfehlen. Dabei sollen die Höhe der Radonkonzentration, d. h. des damit verbundenen Gesundheitsrisikos, und der Aufwand der Sanierungsmaßnahmen in einem angemessenen Verhältnis stehen.

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen. Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauproduktrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wurde die Radonabgabe von in Deutschland aktuell üblichen Produkten in einem Projekt untersucht (siehe Kap. 2.3).

Generell von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Innenräumen ist in Deutschland das in Wasser gelöste Radon, welches bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist in einer Publikation aus dem Jahr 2001 darauf hin, dass Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem darstellt und für den Menschen krebserregend ist. Ferner wird festgestellt, dass die Unsicherheit bei der Risikoabschätzung geringer ist als bei anderen krebserregenden Stoffen. Im Jahre 2005 startete die WHO ein internationales Radonprojekt, um die Gesundheitsaspekte einer Radonexposition zu analysieren und Empfehlungen für Messungen und Sanierungen sowie Leitfäden zur administrativen Regelung in den Mitgliedsstaaten zu formulieren. Der Abschluss des Projektes fand Ende 2009 mit der Veröffentlichung des WHO-Radonhandbuches statt.

Radonkonzentration in Bq/m^3	Relative Häufigkeit in %	tausend Häuser
> 100	10 – 12	1.300 – 1.600
> 200	1,6 – 3,1	220 – 420
> 400	0,3 – 0,9	40 – 140
> 1.000	0,03 – 0,2	4 – 25

Tabelle 2.2-1
Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen

(Estimated number of one- and two-family houses with radon concentration above various threshold values in living rooms)

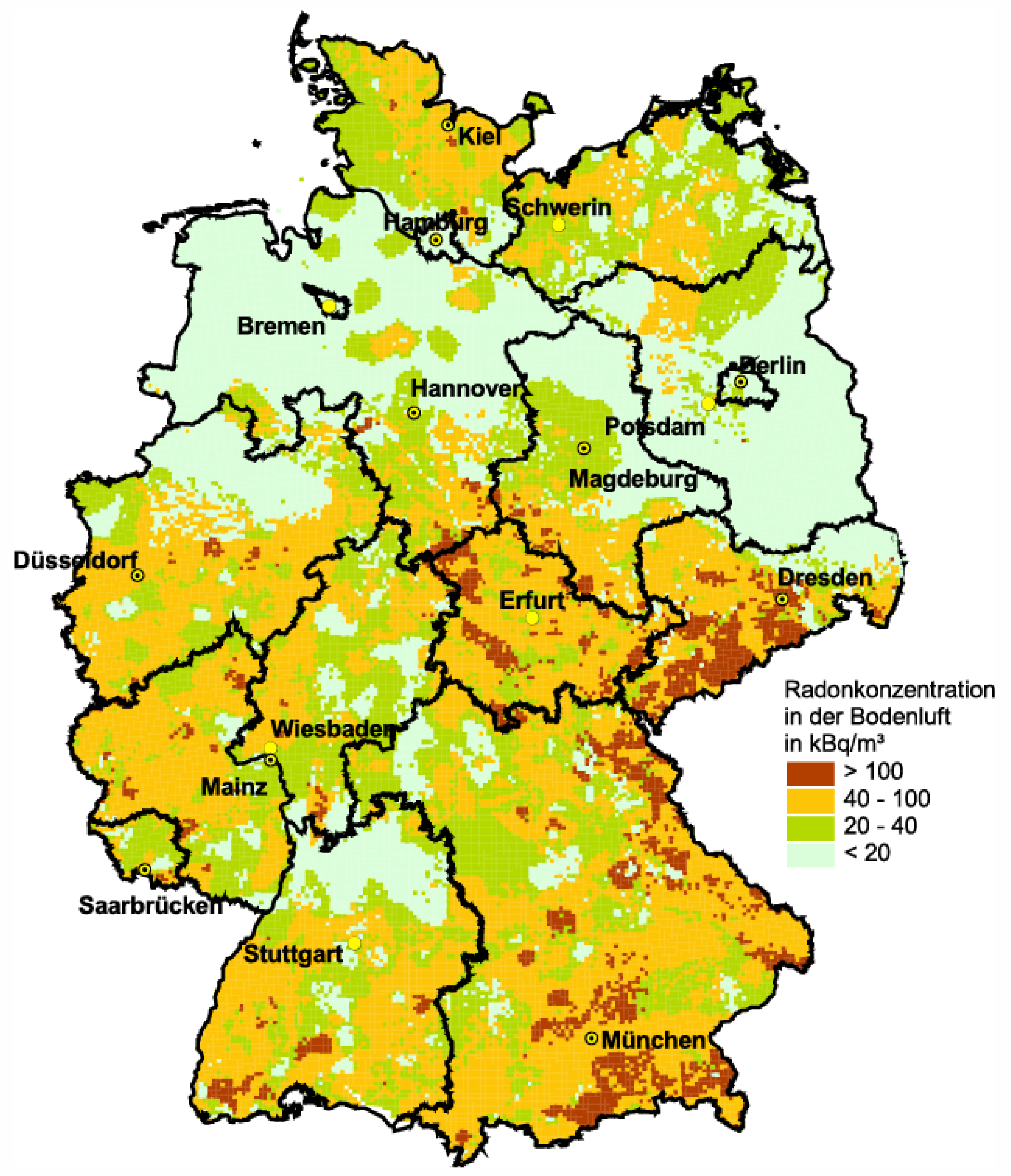


Abbildung 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (nach Daten von 2001)
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten
(Radioactive substances in building material and industrial products)

Untersuchungen und Ergebnisse

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer mittleren Äquivalentdosisleistung in Wohngebäuden von rund 0,6 mSv/a, was einer jährlichen effektiven Dosis von 0,3 mSv entspricht.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Ra-226 entstehende Rn-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen mineralischen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein sowie in den Naturwerksteinen wurden allerdings Ra-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für im Sinne des Strahlenschutzes relevante Radonkonzentration in Wohnungen (siehe Kapitel 2.2) sind.

Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radionuklidkonzentration und der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauproduktrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wurde in einem Projekt in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (bbs) die Nuklidkonzentration und Radonexhalation von über 100 in Deutschland aktuell üblichen, repräsentativen Innenraumprodukten un-

tersucht. Die Spannweite der Ergebnisse der massespezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen ist in Tabelle 2.3-2 zusammengefasst.

Tabelle 2.3-2 Ergebnisse der Radonnuklidbestimmungen in Baustoffgruppen

Produkte	Spezifische Aktivität (Bq/kg)						
	Probenzahl	K-40		Th-228		Ra-226	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Gipsprodukte	5	< 20	120	1,6	5,8	3,8	13
Kalksandsteine	3	35	180	2,8	7,2	4,1	10
Mineralwolle	7	49	350	4,7	64	16	80
Ziegel	27	470	1200	37	98	38	63
Zement/Mörtel	11	135	380	11	21	11	35
Fliesen/Keramik	5	295	620	39	97	67	110
Porenbeton	10	97	350	4,8	19	8	26
Mörtel	7	120	310	6	31	11	53
Putze	19	12	220	0,9	31	2	22
Estrich	5	210	295	11	34	11	26
Leichtbeton	7	710	850	28	83	27	98
Beton	3	230	560	10	47	13	25

Bei der Mehrzahl der Baustoffgruppen wurde eine Gesamtdosis deutlich unterhalb von 1 mSv/a abgeschätzt. Dieser Wert kann bei den Produktgruppen Ziegel, Leichtbeton und Beton, die allerdings die Massenprodukte darstellen, von wenigen Produkten überschritten werden. Selbstverständlich sind bei wechselnden Rohstoffen oder Zusätzen von Rückständen mit erhöhten Radionuklidgehalten Veränderungen möglich. Die durchgeführten Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass der baustoffbedingte Anteil an der Radonkonzentration in Innenräumen grundsätzlich unter 20 Bq/m^3 liegt. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass - wie national und international in der Vergangenheit beobachtet - in Einzelfällen Materialien eingesetzt werden können, die zu einer erhöhten Radoninnenraumkonzentration führen.

Wegen der zunehmenden Verwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich kommt der von diesen Materialien ausgehenden Strahlenexposition für die Bevölkerung besondere Bedeutung zu. Deshalb wurden mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e. V. in den letzten Jahren eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide (Ra-226, Th-232 und K-40) variiert auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmagesteine infolge natürlicher Radionuklide vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten.

Eine breitere Übersicht über die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen, beruhend auf den Daten der Messreihe in den 90er Jahren, gibt Tabelle 2.3-1 in Teil A dieses Berichts.

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Johann Heinrich von Thünen-Institut und vom Max-Rubner-Institut

1. Quellen künstlicher Radioaktivität
(Sources of artificial radioactivity)

1.1 Kernwaffenversuche
(Nuclear weapons tests)

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Sr-90 und Cs-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden.

Die Strahlendosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1980 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig. Sie betrug 2009 weniger als 0,01 mSv.

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung aufgelegt. Damit soll die Weiterentwicklung dieser Waffen verhindert werden. Es handelt sich daher nicht um ein Umweltschutzabkommen, sondern um einen Vertrag gegen die Proliferation von Massenvernichtungswaffen. Die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) baut zurzeit mit Hilfe der Signatarstaaten ein weltweites Überwachungssystem mit einem Netz von 321 Messstationen (Internationales Messnetz, IMS) auf, 80 davon werden mit Radionuklidmesssystemen ausgerüstet sein, die die Atmospäre überwachen. Die dabei eingesetzten Detektoren orientieren sich an der Aufgabe, in der Luft auch noch geringste Freisetzungen von Radionukliden aus unterirdischen Kernexplosionen nachzuweisen, auch wenn die freigesetzte Menge für die Strahlenbelastung sehr gering ist. Deswegen sind diese Detektoren auch sehr viel empfindlicher als typische Geräte für den Einsatz im Strahlenschutz.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Station Schauinsland des BfS (Radionuklidstation 33, RN 33) oberhalb von Freiburg. Dort sind automatische Messsysteme für den Nachweis von schwebstoffpartikelgebundener Radioaktivität sowie auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb.

Die hohe Sensitivität der Messsysteme führt dazu, dass regelmäßig Spuren künstlicher Radionuklide nachgewiesen werden. Dabei kann es sich um Spuren von resuspendiertem Cs-137 aus altem Kernwaffenfallout oder der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl handeln oder auch um Radionuklide aus aktuellen Quellen ziviler Anwendungen, insbesondere von radiopharmazeutischen Produktionsanlagen.

Die mengenmäßig weitaus größten atmosphärischen Freisetzungen von Radionukliden aus zivilen Anlagen betreffen radioaktive Edelgase. Diese sind sehr flüchtig und daher schwer zurückzuhalten. Sie sind wegen dieser Eigenschaft einerseits schwierig zu messen und tragen andererseits auch nur sehr gering zur Strahlenbelastung bei. Das CTBT-Messnetz hingegen legt gerade auf radioaktive Edelgase einen besonderen Wert und ist auch in der Lage, die verschiedensten Emissionen weltweit zu beobachten. Überraschenderweise hat man mit Inbetriebnahme des Messnetzes festgestellt, dass der relative Beitrag von Kernkraftwerken nicht so dominant war wie angenommen. Weitaus größere Emissionen beobachtet man bei Produktionsanlagen für Mo-99, welches als Mutternuklid von Tc-99m in großem Maßstab für medizinische Diagnostik und Therapie benötigt wird. Dabei fällt auch radioaktives Xenon an, welches je nach Anlagentyp und Betriebsprozessen mit sehr unterschiedlicher Effizienz zurückgehalten wird.

Ein durch zivile Quellen geographisch und zeitlich sehr variabler Untergrund an Xe-133 sowie auch das sporadische Vorkommen anderer Xenonisotope erschwert die Detektion und insbesondere die Identifikation von möglichen Emissionen aus unterirdischen Kernwaffentests. Dies bedeutet, dass ein großes Interesse seitens der CTBTO und ihrer Mitgliedstaaten besteht, zur Verbesserung der Fähigkeiten des Verifikationssystems die Emissionen aus radiopharmazeutischen Produktionsanlagen zu reduzieren, auch wenn dies aus Gründen des Strahlenschutzes nicht erforderlich wäre.

Während man für das Jahr 2005 noch davon ausgehen musste, dass radiopharmazeutische Anlagen eine Größenordnung mehr Xe-133 (ca. 10.000 TBq/Jahr) freisetzten als alle Kernkraftwerke weltweit, beobachtet man für das Jahr 2009 einen deutlichen Rückgang. Die vorübergehende Stillegung einer der größten und ältesten Produktionsanlagen für radiopharmazeutisches Mo-99 in Chalk River, Kanada, sowie bestimmte emissionsreduzierende Maßnahmen in anderen Anlagen haben dazu geführt, dass der mittlere globale Pegel von Radioxenon im Jahr 2009 deutlich unter dem der Vorjahre lag. Als Beispiel zeigt Abb. 1.1-1 den Verlauf der gemessenen Tagesmittelwerte der Xe-133-Aktivitätskonzentration an der Station Schauinsland für die Jahre 2004 bis 2009. Die maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration im Jahr 2009 lag unter 50 mBq/m³ und damit fünfmal niedriger als der höchste bisher gemessene Wert von 260 mBq/m³ in 2005. Der Mittelwert sank von 5,3 mBq/m³ im Jahr 2005 auf 2,8 mBq/m³ im Jahr 2009. Die Auswirkungen der Emissionsreduzierungen in Nordamerika und Europa lassen sich auch an praktisch allen Messstationen der Nordhemisphäre in ähnlicher Form nachweisen.

Großes Medieninteresse löste der unterirdische Kernwaffentest der Demokratischen Volksrepublik Korea aus. Am 25. Mai 2009 registrierte das seismische Messnetz der CTBTO dort eine Explosion der Magnitude von 4,7 auf der Richterskala, was einer Sprengkraft von mehreren Kilotonnen TNT entspräche. Allerdings konnten keine Detektionen von Radioxenon diesem Ereignis zugordnet werden und auch bei partikelgebundenen Radionukliden gab es keinen Hinweis auf eine Freisetzung nach diesem Test. Dies deutet auf ein sehr gutes Containment hin. Mit drei voll operationellen Stationen in der Region um das Ereignis und zwei weiteren Stationen mit Probennahmesystemen für Xenon war das

CTBT-Messnetz in der Region in bestimmungsgemäßem und lückenlosen Betrieb. Der fehlende Nachweis von Radioxenon legt den Schluss nahe, dass weniger als 10 TBq Xe-133 freigesetzt wurden. Dies ist weniger als ein tausendstel der Menge, die man auf Grund des seismischen Signales als insgesamt produzierte Menge annehmen konnte.

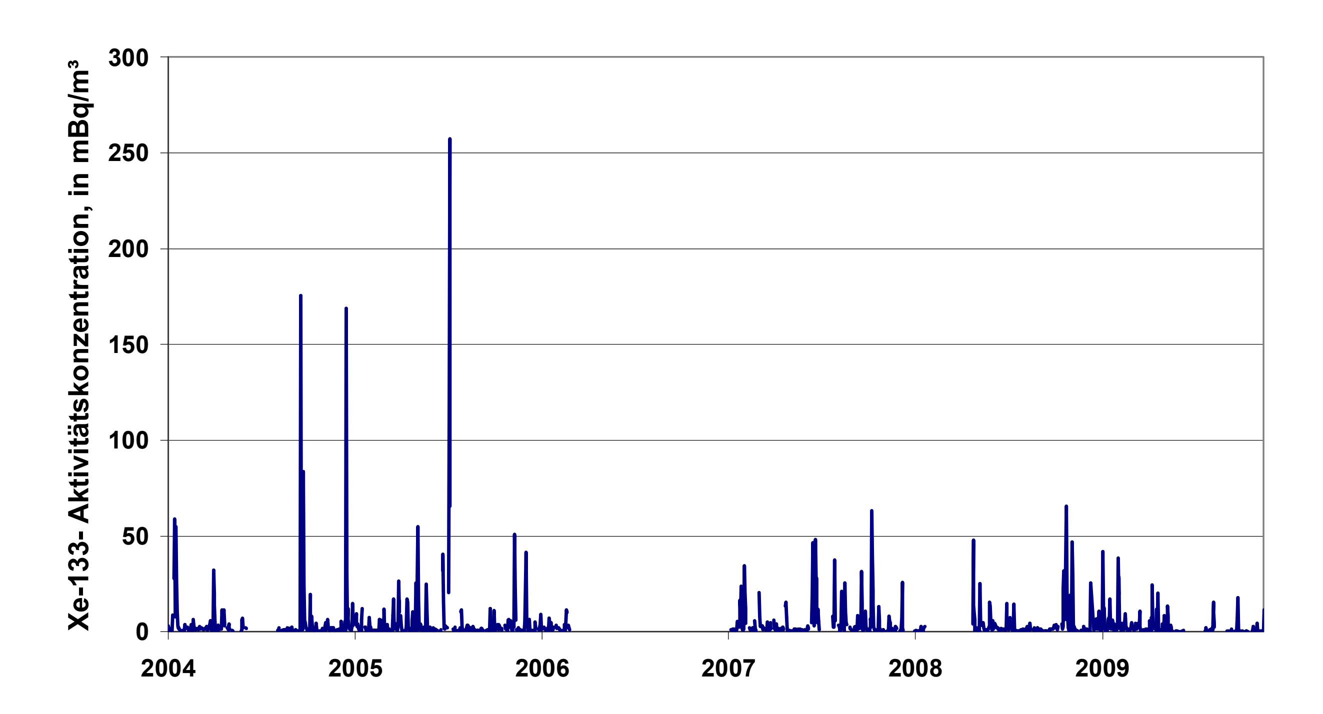


Abbildung 1.1-1 **Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2009 an der IMS-Station RN33 auf dem Schauinsland**

(Time series of Xe-133-activity concentration at IMS-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2009)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall *(Chernobyl - radiation exposure from the accident)*

Im Jahr 2009 sind Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Durch ein umfangreiches Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, in dem jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Aktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung der Konzentration radioaktiver Nuklide in Lebensmitteln sichergestellt.

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,25 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv pro Jahr durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (K-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen wurden weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cs-137-Aktivitäten reichen bis zu 157 Bq/kg bei Flussbarschen und 1.380 Bq/kg bei einigen Arten von Wildpilzen (Maronenröhrlinge, 47 Messungen).

Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten auch weiterhin gelegentlich den Höchstwert von 600 Bq pro kg für Cs-137 und dürfen daher nicht vermarktet werden.

In Abbildung 1.2-1 werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland.

In Bayern liegt der Mittelwert von 3 Messungen an Wildschweinen bei 7,5 Bq/kg, die Werte reichen bis 12,5 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 27 Messungen bei 44 Bq/kg mit einem Höchstwert von 342 Bq/kg (vgl. „Tabelle 2.4.7-8 Wild, Inland und Einfuhr“ auf Seite 200). Hier und auch in allen anderen Bundesländern gab es 2009 keine Überschreitungen des Höchstwertes bei Rehfleisch.

In Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Höchstwert von 600 Bq/kg. Der Mittelwert liegt bei 294 Bq/kg (12 Messungen), der Maximalwert bei 1.720 Bq/kg. In Niedersachsen wur-

de ein Mittelwert von 66 Bq/kg und ein Maximalwert von 680 Bq/kg bei Wildschweinfleisch gemessen (35 Messungen). In allen anderen Bundesländern wurde der Höchstwert nicht überschritten. Werte bis 455 Bq/kg fanden sich in Schleswig-Holstein bei einem Mittelwert von 156 Bq/kg (3 Messungen) in Wildschweinfleisch.

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große, geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen dagegen nur sehr geringe Kontaminationen.

Der Verzehr von z. B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1.000 Bq/kg führt bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv. Das BfS rät grundsätzlich, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln lässt sich durch das individuelle Ernährungsverhalten reduzieren. Wer für sich persönlich die Strahlenbelastung so gering wie möglich halten möchte, sollte deshalb auf den Verzehr von vergleichsweise hoch kontaminierten Pilzen und Wildbret verzichten (www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/pilze_wildbret.html und www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/speisepilze.html).

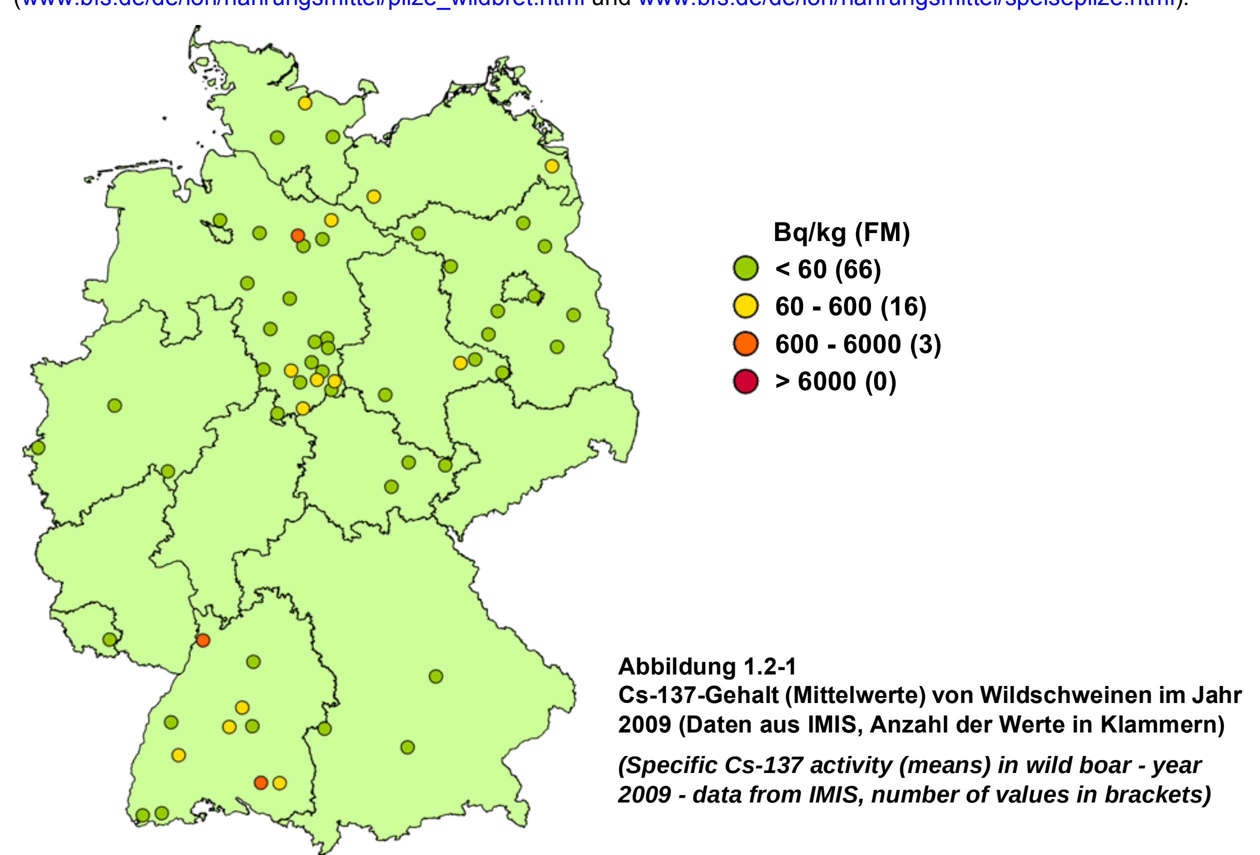


Abbildung 1.2-1
Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen im Jahr 2009 (Daten aus IMIS, Anzahl der Werte in Klammern)

(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar - year 2009 - data from IMIS, number of values in brackets)

1.3 Kerntechnische Anlagen
(Nuclear facilities)

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2009 folgende kerntechnische Anlagen:

- 17 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke (Tabelle 1.3-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 21.507 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 134,9 TWh und einem Anteil von 22,6% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 27,2% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2009. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade und Obrigheim haben den Betrieb beendet.
- 4 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.3-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 35 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau.
- 17 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (Tabelle 1.3-3).
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Seit dem 25.09.1998 nimmt das ERAM keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr an (Tabelle 1.3-4).
- Die Schachtanlage Asse. Daten zu Asse sind in Tabelle 1.3-5 dargestellt.

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching, sowie der Kernbrennstoff ver-

arbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachtanlage Asse für das Jahr 2009 sind in den Kapiteln 2.1.5 und 2.2.4 getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Aktivitätsableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2009 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden.

Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Kapitel 1.3.1 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2009 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.3-6 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“. Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden im Strahlenschutzbericht 2009 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI veröffentlicht.

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben[1] sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf.

Dasselbe gilt auch für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenbelastung der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Forschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Tabelle 1.3-1 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)

Standort kerntechnische Anlage	Bezeichnung	Typ [a]	elektr. Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 2009* (MWa)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Kahl	VAK	SWR	16	0	1960/1985	Main
Karlsruhe	MZFR	D_2O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	KKR	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	KRB-A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Jülich	AVR	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Lingen	KWL	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Obrigheim	KWO	DWR	357	0	1968/2005	Neckar
Karlsruhe	KNK II	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Würgassen	KWW	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Stade	KKS	DWR	672	0	1972/2003	Elbe
Greifswald 1 - 5	KGR 1-5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Biblis A	KWB A	DWR	1.225	125	1974	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1.300	184	1976	Rhein
Neckarwestheim 1	GKN 1	DWR	840	551	1976	Neckar
Brunsbüttel	KKB	SWR	806	0	1976	Elbe
Isar 1	KKI 1	SWR	912	808	1977	Isar
Unterweser	KKU	DWR	1.410	1.203	1978	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	736	1979	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1.345	1.262	1981	Main
Krümmel	KKK	SWR	1.402	40	1983	Elbe
Hamm-Uentrop	THTR-300	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	KRB-II-B	SWR	1.344	1.248	1984	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1.430	1.313	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-II-C	SWR	1.344	1.230	1984	Donau

[1] Das TBL Gorleben ist zusätzlich für die Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken genehmigt

Standort kerntechnische Anlage	Bezeichnung	Typ [a]	elektr. Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 2009* (MWa)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1.458	1.322	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1.302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1.480	1.376	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1.485	1.384	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1.400	1.305	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN 2	DWR	1.400	1.315	1988	Neckar

a SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D_2O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

* Daten aus Atomwirtschaft, atw 2010, Kernkraftwerke in Deutschland Betriebsergebnisse 2009

Tabelle 1.3-2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung * (MW)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes
Garching	Technische Universität München, Forschungs-Neutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz	FRM I FRM II	4 20	1957/2000 2004
Rossendorf	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA)	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	GKSS-Forschungszentrum	FRG 1 FRG 2	5 15	1958 1963/1993
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe (KIT)	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich	FRJ 1 FRJ 2	10 23	1962/1985 1962/2006
Mainz	Johannes Gutenberg-Universität	FRMZ	0,1	1965
Braunschweig	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	FMRB	1	1967/1995
Neuherberg	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (früher GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit)	FRN	1	1972/1982
Hannover	Medizinische Hochschule	FRH	0,25	1973/1996
Berlin	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	BER II	10	1973
Heidelberg	Deutsches Krebsforschungszentrum	HD II	0,25	1978/1999

* im Dauerbetrieb

Tabelle 1.3-3 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in der Bundesrepublik Deutschland
(Interim storage facilities of spent nuclear fuels in the Federal Republic of Germany)

Standort	Erteilung der Genehmigung nach AtG	Beginn des Betriebes	Stellplätze gesamt (Ende 2008 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2009 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (41)	135 (41)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (6)	100 (12)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003	05.02.2006	80 (6)	80 (6)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (10)	88 (13)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (12)	100 (12)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (17)	192 (25)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (12)	152 (16)
SZL Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	80 (14)	80 (17)
SZL Lingen	06.11.2002	10.12.2002	125 (24)	125 (28)
SZL Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	151 (27)	151 (32)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (26)	152 (31)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (3)	80 (5)
AVR-Behälterlager Jülich	17.06.1993	23.08.1993	158 (149)	158 (152)
Nasslager Obrigheim	26.10.1998	Mitte 1999	980 (342)	980 (342)
TBL Ahaus	10.04.1987	06.1992	420 (329)	420 (329)
TBL Gorleben	05.09.1983	25.04.1995	420 (91)	420 (91)
ZLN Rubenow	05.11.1999	11.12.1999	80 (65)	80 (65)
SZL Obrigheim (beantragt)	Antragstellung 22.04.2005	-	15	15

SZL Standortzwischenlager

TBL Transportbehälterlager

ZLN Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord Rubenow

AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich

Tabelle 1.3-4 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(Ultimate disposal facilities for radioactive waste in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar (Stand 31.12.2009)	Inventar (Stand 31.12.2008)
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	36.964 m^3 / 3,8 E14 Bq	36.915 m^3 / 3,8 E14 Bq

Die Volumendifferenz zum Vorjahr ergibt sich aus der Einlagerung radioaktiver Betriebsabfälle, die im ERAM angefallen sind. Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 1,07 E14 Bq (Vorjahr: 1,10 E14 Bq)

Tabelle 1.3-5 Schachtanlage Asse
(Asse mine)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar (Stand 31.12.2009)	Inventar (Stand 31.12.2008)
Remlingen	Bundesamt für Strahlenschutz (bis 2009 Helmholtz Zentrum München)	Schachtanlage Asse	1967	2,9 E15 Bq	2,5 E15 Bq

Die Änderung ergibt sich aus der Nacherhebung des Inventars durch das Helmholtz Zentrum München, nach welcher die Inventare bei einigen Radionukliden, insbesondere des Plutoniums und des Urans, gegenüber den früheren Annahmen des ehemaligen Betreibers höher sind.

Tabelle 1.3-6 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border)

Land	Anlage / Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

1.3.1 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen *(Radiation exposure from nuclear facilities)*

Die für das Jahr 2009 ermittelten Daten über die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 2.1.5 bzw. 2.2.4 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend des Entwurfs vom 13.05.2005 der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) (8/2004): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.3.1-1 bis 1.3.1-6 angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 Absatz 2 StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 µSv, die Schilddrüsendosis höchstens 900 µSv und die Knochenoberflächendosis höchstens 1.800 µSv pro Jahr betragen.

Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier nur die Dosen für die kritischen Gruppen und Organe angegeben. In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

Tabelle 1.3.1-1 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2009 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe von >1 bis ≤2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Tabelle 1.3.1-1 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 3 µSv (1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Gundremmingen, Isar und Philippsburg, sowie für Kleinkinder 5 µSv (unter 2% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) bei denselben Standorten. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 5 µSv (unter 1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) bei den Standorten Gundremmingen und Isar. Diese maximalen Werte haben sich gegenüber dem Vorjahr nur wenig geändert.

In Tabelle 1.3.1-2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen eine Aufenthaltszeit von 1.000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt 1,4 µSv für Kleinkinder (entsprechen ca. 0,5% des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckar wurden effektive Jahresdosen von etwa 0,9 µSv für Erwachsene und 1,5 µSv für Kleinkinder ermittelt; für die Weser wurden für beide Personengruppen 0,3 µSv bzw. 0,5 µSv berechnet; am Main liegen die effektiven Jahresdosen bei 0,3 µSv bzw. 0,5 µSv, am Rhein bei 0,1 µSv und an der Donau bei 0,4 bzw. 0,6 µSv. Diese Dosiswerte ergeben sich auch für das kritische Organ (rotes Knochenmark). Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Die in Tabelle 1.3.1-3 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren stammen teilweise aus den Jahresberichten der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2009 als höchsten Wert 1,9 µSv (unter 1% des Grenzwertes) für Erwachsene und 2,4 µSv (knapp 1% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT) auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 2,4 µSv (unter 1% des Grenzwertes) ebenfalls in Karlsruhe.

In Tabelle 1.3.1-4 wird die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das Abwasser aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich und Geesthacht angegeben.

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau sind in Tabelle 1.3.1-5 die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft angegeben.

Die Hanauer Betriebe sind im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen worden, die Berichterstattung über diese Anlagen wurde eingestellt.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind in Tabelle 1.3.1-6 aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 µSv/Jahr.

Die Strahlenexposition in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Tabelle 1.3.1-7 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2009 0,12 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,31 µSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,82 µSv; dies sind ca. 0,04%, 0,10% bzw. 0,27% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark) errechnete sich zu 0,23 µSv für Erwachsene, 0,84 µSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 2,56 µSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,08%, 0,28% bzw. 0,85% des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2009 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Am 4. September 2008 haben das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und das Niedersächsische Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU) entschieden, die Schachtanlage Asse II zukünftig verfahrensrechtlich wie ein Endlager zu behandeln. Danach war vorgesehen, dass dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die Betreiberschaft der Asse zum 1. Januar 2009 vom Helmholtz Zentrum München (HMGU) übertragen wird. Das Bundeskabinett machte den Weg dafür mit einem Beschluss vom 5. November 2008 frei. Zum 1. Januar 2009 erfolgte der Wechsel der Betreiberschaft.

Mit dem Wechsel der Betreiberschaft und der verfahrensrechtlichen Behandlung als Endlager für radioaktive Abfälle wurde auch das Berechnungsverfahren für die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser dem für kerntechnische Anlagen üblichen Verfahren angepasst. Daraus resultiert, dass die errechnete potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage im Jahr 2009 gegenüber dem Jahr 2008 durchweg höher ist, trotz der in etwa gleichgebliebenen Ableitung von radioaktiven Stoffen im Jahr 2009.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2009 für Erwachsene 16 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 22 µSv und für Säuglinge 26 µSv. Dies sind ca. 5,3%, 7,3% und 8,7% des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung. Der relativ große Anteil der Dosis durch Radon (z. B. 12 µSv bei der effektiven Dosis bei Erwachsenen) führt zu einem höheren Wert der Strahlenexposition als bei den Kernkraftwerken. Die Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark für Säuglinge unter einem Jahr und Kleinkinder im Alter von 1 bis 2 Jahren; Knochenoberfläche für Erwachsene) wurde mit 46 µSv für Säuglinge, 26 µSv für Kleinkinder und 64 µSv für Erwachsene ermittelt. Dies sind ca. 15,3%, 8,7% und 3,6% des zulässigen Grenzwertes, größtenteils bedingt durch Radon.

Die Strahlenbelastung in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser ist in Tabelle 1.3.1-8 aufgeführt.

Bewertung

Die für 2009 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes mit Ausnahme der Schachtanlage Asse II, wo größtenteils bedingt durch Radon 15% des Organdosisgrenzwertes erreicht werden. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2009 deutlich unter 10 µSv pro Jahr.

Tabelle 1.3.1-1 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Kerntechnische Anlagen	Oberer Wert [a]					
	der effektiven Dosis				der Schilddrüsendosis	
	für Erwachsene in µSv		für Kleinkinder in µSv		für Kleinkinder in µSv	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
VAK Kahl	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KKR Rheinsberg [b]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWL Lingen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWO Obrigheim	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5	0,3
KKS Stade	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWW Würgassen	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
KGR Greifswald [b]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWB Biblis A, B	0,8	0,3	1	0,5	1	0,4
GKN Neckarwestheim 1, 2	2	0,7	3	1	3	1
KKB Brunsbüttel	< 0,1	0,5	< 0,1	1	< 0,1	0,9
KKI Isar 1, 2	3	4	5	6	5	6
KKU Unterweser	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
KKP Philippsburg 1, 2	3	3	5	6	4	6
KKG Grafenrheinfeld	0,4	0,2	0,8	0,4	0,7	0,3
KKK Krümmel	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
KRB Gundremmingen A, B, C	3	2	5	4	5	4
KWG Grohnde	0,4	0,6	0,6	1	0,6	1
THTR-300 Hamm-Uentrop	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KMK Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KBR Brokdorf	0,5	0,5	0,9	0,8	0,9	0,8
KKE Emsland	0,4	0,3	0,7	0,6	0,7	0,6

a Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

b Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Tabelle 1.3.1-2 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Kerntechnische Anlagen	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv		Oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder in µSv	
	2009	2008	2009	2008
VAK Kahl	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KRB Gundremmingen A, B und C	0,4	0,3	0,3	0,3
KWO Obrigheim	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1
KKS Stade	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWW Würgassen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
KWB Biblis A und B	0,1	0,1	0,2	0,2
GKN Neckarwestheim 1 und 2	0,7	0,5	1,3	1,0
KKB Brunsbüttel	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KKI Isar 1 und 2	0,3	0,3	0,5	0,5
KKU Unterweser	0,1	0,1	0,2	0,2
KKP Philippsburg 1 und 2	0,1	0,1	0,2	0,2
KKG Grafenrheinfeld	0,5	0,3	0,8	0,5
KKK Krümmel	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Kerntechnische Anlagen	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv		Oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder in µSv	
	2009	2008	2009	2008
KWG Grohnde	0,3	0,2	0,5	0,4
KMK Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KBR Brokdorf	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KKE Emsland	0,8	0,9	1,4	1,6
KKR Rheinsberg *	0,2	0,2	0,3	0,3
KGR Greifswald *	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

* Bei der Berechnung der Strahlenexposition konnten für Expositionspfade, bei denen die effektive Dosis durch langjährige Ablagerungen von Radionukliden bedingt ist, nur die seit 1990 mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe berücksichtigt werden

Tabelle 1.3.1-3 Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert der effektiven Dosis in µSv				der Schilddrüsendosis in µSv	
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früher Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	1,9	2,3	2,4	2,9	2,4	3,2
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	1,3	1,2	1,8	1,8	1,4	1,4
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) Gesamtstandort *	0,8	0,7	1,7	1,0	1,0	1,0
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht *	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5
Garching, FRM I und FRM II	0,5	0,2	0,9	0,3	0,9	0,3

* Entnommen aus den Jahresberichten 2009 der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin

Tabelle 1.3.1-4 Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser*
(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv	
	2009	2008
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	< 0,1	<0,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	1,2	1,9
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)		0,8
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	< 0,1	<0,1

* Nach Angaben der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich und Dresden-Rossendorf

Tabelle 1.3.1-5 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Betrieb	Oberer Wert					
	der effektiven Dosis in µSv				der Knochenoberfläche in µSv	
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
ANF GmbH (Lingen)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
URENCO D (Gronau)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabelle 1.3.1- 6 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Betrieb	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in µSv	
	2009	2008
ANF GmbH (Lingen)	< 0,1	< 0,1
URENCO D (Gronau)	< 0,1	< 0,1

Tabelle 1.3.1-7 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the Morsleben final repository due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Fortluft Oberer Wert in µSv				Abwasser Oberer Wert in µSv der effektiven Dosis	
	der effektiven Dosis		der Organdosis			
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
Erwachsene	0,12	0,2	0,23	0,3	< 0,1	< 0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,31	0,4	0,84	0,9	< 0,1	< 0,1
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	0,82	0,9	2,56	2,7	< 0,1	< 0,1

Tabelle 1.3.1-8 Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the Asse mine due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Fortluft Oberer Wert in µSv				Abwasser Oberer Wert in µSv der effektiven Dosis	
	der effektiven Dosis		der Organdosis **			
	2009***	2008*	2009***	2008*	2009	2008
Erwachsene	16	6,0	64	36	‡	‡
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	22	9,1	26	15	‡	‡
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	26	10	46	20	‡	‡

* Die angegebenen Messwerte beruhen auf Betreiberangaben, da die Schachtanlage 2008 noch keine kerntechnische Anlage gemäß AtG war. Es erfolgte eine stichprobenartige Kontrolle der Messwerte durch das BfS

** Knochenoberfläche für Erwachsene, rotes Knochenmark für Säuglingen und Kleinkinder

*** Mit dem Betreiberwechsel und der verfahrensrechtlichen Behandlung als Endlager für radioaktive Abfälle wurde das Berechnungsverfahren für die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe dem für kerntechnische Anlagen üblichen Verfahren angepasst. Trotz der in etwa gleichgebliebenen Ableitung von radioaktiven Stoffen im Jahr 2009 ist daher die errechnete potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage gegenüber dem Jahr 2008 durchweg höher.

‡ Im Jahr 2009 wurden keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze
(Activity measurements and monitoring networks)

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma–Ortsdosisleistung / Spurenanalyse
(Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis)

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) sind mit der Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre gesetzlich beauftragt.

Die Messnetze des BfS und des DWD sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Die geprüften Messergebnisse werden täglich der Zentralstelle des Bundes für IMIS (ZdB) bereitgestellt. Weitere Informationen zu den Radioaktivitätsmessnetzen von BfS und DWD sind in diesem Bericht in Teil A - II - 2.1 enthalten.

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz Zentrum München durchgeführt. Die von DWD, BfS und PTB erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU bereitgestellt.

Im vorliegenden Bericht kann die Vielzahl sämtlicher Einzelmesswerte nicht dokumentiert werden. Die Abbildungen und die Tabellen stellen repräsentative Beispiele dar. Die Einzelwerte sind in der Leitstelle verfügbar.

Ergebnisse der Routinemessungen

Sowohl die Messwerte der Gamma (γ)-Ortsdosisleistung als auch die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind auch im Jahr 2009, verglichen mit denen des Vorjahres, weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

2.1.1 Radionuklide in der bodennahen Luft
(Radionuclides in ground-level air)

Monitoring

Die Ergebnisse der kontinuierlich arbeitenden Luftmonitore wiesen im Berichtsjahr keine Werte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze von typischerweise ca. 10 mBq/m^3 Luft, bezogen auf Cs-137, auf.

Als über 17 Messstationen des DWD errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt-β-Aktivitätskonzentration der Luft resultierte für das Jahr 2009 ein Wert von 0,6 mBq/m^3 (2008: 0,5 mBq/m^3). Der Wert liegt innerhalb des Schwankungsbereichs der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in der Luft.

Edelgase

Auch im Jahr 2009 wurden am BfS Messungen des radioaktiven Xenons und des Kr-85 durchgeführt. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xe-133 an den sieben deutschen Probenentnahmestationen lagen, wie schon in den vergangenen Jahren, in der Regel zwischen 1 und 100 mBq/m^3 Luft. Als Beispiel ist in Abbildung 2.1.1-1 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration des radioaktiven Xenonisotops Xe-133 in Freiburg dargestellt.

Nachdem der Grundpegel von Kr-85 über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m^3 Luft pro Jahr leicht angestiegen ist, ist nun ein Abflachen der Kurve zu beobachten (siehe Abbildung 2.1.1-2), das sich im Berichtsjahr fortgesetzt hat. Der jährliche Anstieg wurde dadurch hervorgerufen, dass die Freisetzungsrate von Kr-85 größer war als seine durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate. Die aktuellen Messdaten spiegeln auch für 2009 den eher rückläufigen Trend der Kr-85-Emissionen aus Wiederaufarbeitungsanlagen wider. So wurde von dem Hauptemittenten, der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague, im Jahre 2009 eine Aktivität von $1{,}96 \cdot 10^{17}$ Bq Kr-85 in die Atmosphäre entlassen. Die bisher maximale jährliche Aktivität von $3{,}2 \cdot 10^{17}$ Bq wurde im Jahre 1998 emittiert.

Der Medianwert für den Probenentnahmeort Freiburg – repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen – betrug im letzten Jahr 1,55 Bq/m^3 Luft. Kurzzeitige Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen für Kernbrennstoffe (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Es bleibt abzuwarten, ob in den kommenden Jahren ein Anstieg des Grundpegels zu beobachten sein wird, da in Rokkasho (Japan) eine Wiederaufbereitungsanlage in Betrieb genommen wurde. Die Kapazität dieser Anlage wird bei voller Ausnutzung mit der von La Hague/Frankreich vergleichbar oder noch größer sein, so dass entsprechende Emissionen zu erwarten sind.

Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur Ortsdosisleistung liegt, auch unter Berücksichtigung der kurzzeitigen Erhöhungen, unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der Ortsdosisleistung in Deutschland sehr klein.

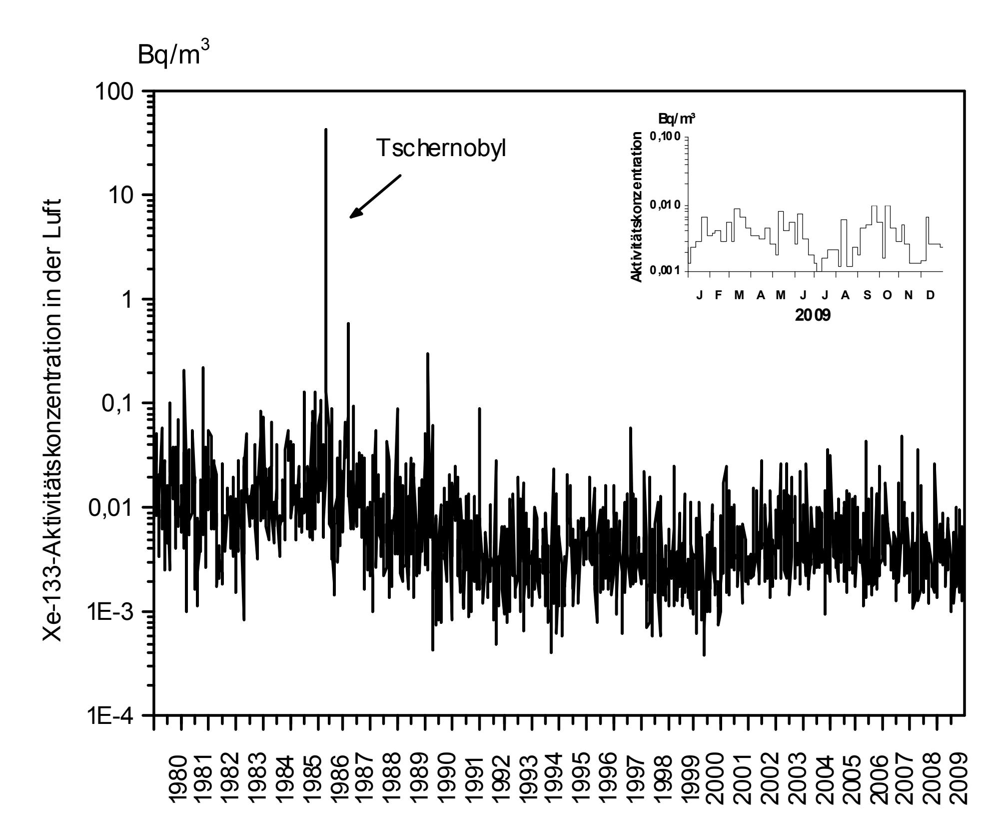


Abbildung 2.1.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg

(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

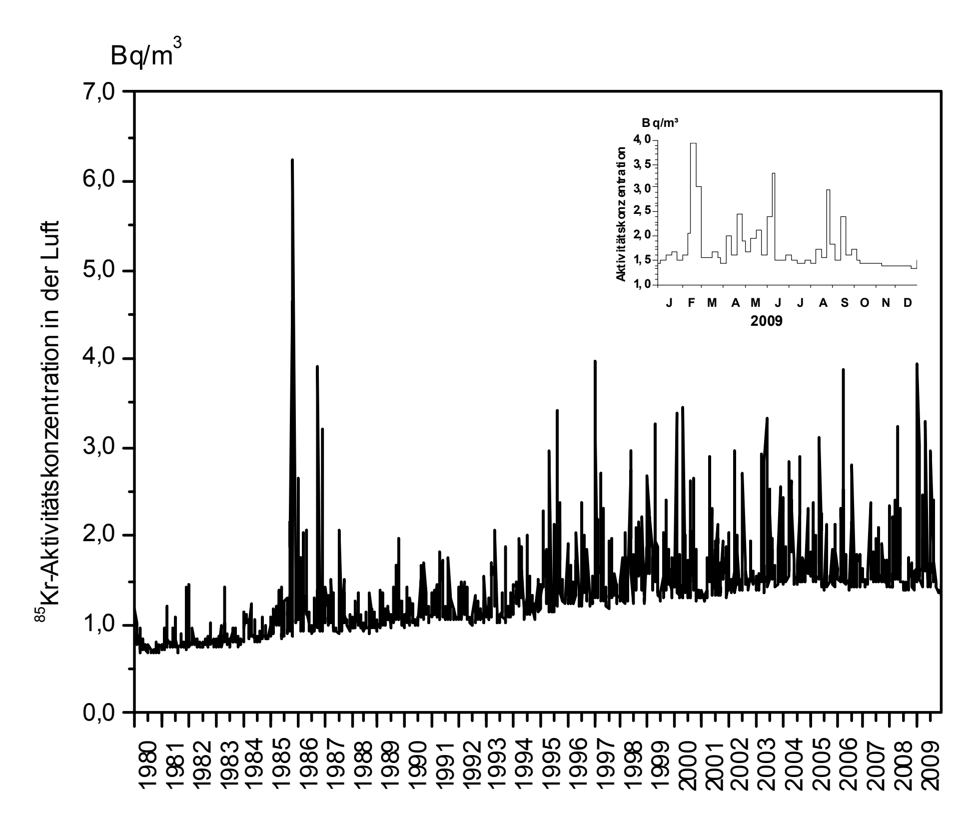


Abbildung 2.1.1-2 Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg

(Activity concentrations of Kr-85 in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

Gammaspektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter zunächst γ–spektrometrisch ausgewertet. In Tabelle 2.1.1-1 werden exemplarisch die Messergebnisse des DWD für Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse des Helmholtz Zentrums München, des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Es handelt sich um Monatsmittelwerte und die daraus abgeleiteten Jahresmittelwerte.

Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Offenbach und Berlin werden in Abbildung 2.1.1-3 grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich in Berlin mit Werten zwischen 0,2 und 0,7 µBq/m^3 Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,1 und 1,1 µBq/m^3, das kosmogene Be-7 in Berlin mit Werten zwischen 1,8 und 15,2 mBq/m^3 Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 1,9 und 5,7 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt, im üblichen Schwankungsbereich und vergleichbar mit Ergebnissen aus dem Jahr 2008. An allen Messstationen zeigten sich in den Monaten Mai, Juni und Juli deutlich höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des Be-7 als in den übrigen Monaten. Dieser Effekt ist auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre zurückführen und damit auf einen stärkeren Eintrag des Be-7 aus der oberen Atmosphäre in die bodennahe Luft.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,35 µBq/m^3 Luft (vgl. Abbildung 2.1.1-4, Tabelle 2.1.1-1d). Dieser Wert liegt im Rahmen der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft treten vereinzelt, insbesondere bei Ostwind-Wetterlagen auf. Sie sind durch verstärkte Resuspension (z. B. bei langer Trockenheit) des Cäsiums aus höher belasteten Regionen in der Gegend um Tschernobyl erklärbar. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei 0,2 µBq/m^3 Luft. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Messwerte für Be-7 in den Wochenproben lagen zwischen 2 und 10 mBq/m^3 Luft innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens. Auf Grund der Lage der Station (1.200 m ü. N.N.) können hier höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des kosmogenen Be-7 erreicht werden als bei niedriger gelegenen Stationen. Im November 2009 wurde an der Station Schauinsland ein neuer Hochvolumensammler installiert. Er soll nach einer halbjährigen Testphase im Parallelbetrieb den alten, seit 1989 betriebenen Sammler ablösen.

In Braunschweig liegen die Messergebnisse auch in diesem Berichtszeitraum im Bereich der Werte, die in den vorangegangenen Jahren beobachtet wurden (vgl. auch Abbildung 2.1.1-5). In der Abbildung sind das durch den Einfluss des Silvesterfeuerwerks 2008/2009 erhöhte Messergebnis und der im Frühjahr übliche Anstieg der Aktivitätskonzentration des K-40 durch Pollenflug erkennbar. Der Höchstwert der Aktivitätskonzentration des Cs-137 als Folge von Ostwind-Wetterlagen trat in der Kalenderwoche 51 mit 1,4 µBq/m^3 Luft auf. Das Aktivitätsverhältnis A(Cs-137)/A(K-40) steigt üblicherweise durch den Eintrag von Bodenstaub aus Osteuropa an, der stärker mit Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall kontaminiert ist als der Boden in Norddeutschland. Derzeit ist unklar, ob diese Probe auch von Cs-137-haltiger Asche aus Heizungen beeinflusst wurde. Dies könnte der Fall sein, wenn in der näheren Umgebung der PTB Pellets verheizt wurden, die aus mit Cs-137 belasteten Hölzern hergestellt worden waren.

In der 35. Kalenderwoche wurden die Hochvolumen-Luftstaubsammler nach praktisch 10jährigem Dauerbetrieb erstmals einer umfangreichen Wartung unterzogen, so dass für diese Woche keine Messergebnisse vorliegen.

Tabelle 2.1.1-1 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air)

a) Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m^3				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
2000	2855	0,35	9,7	0,50	283
2001	2609	0,32	8,3	0,41	273
2002	2530	0,3	9	0,7	310
2003 *	2730	0,4	10	0,62	344
2004 *	2650	0,3	10	0,35	252
2005 *	3300	0,3	10	0,43	434
2006 *	3810	0,5	11	0,58	438
2007 *	3641	0,4	9,1	0,40	309
2008 *	3604	0,4	9	0,32	280
2009 *	3270	0,3	8,6	0,34	287
Januar	2850	0,3	11	0,64	414
Februar	1330	0,1	4,3	0,32	216
März	2380	0,3	4,3	0,23	128
April	4300	0,6	12	0,55	355
Mai	4310	0,6	11	0,30	202
Juni	2920	0,4	6,5	0,15	174
Juli	3960	0,4	10	0,14	256
August	4670	0,4	16	0,32	345
September	4440	0,3	9,6	0,33	389
Oktober	2220	0,2	7,5	0,37	344
November	3260	0,2	5,4	0,20	330
Dezember	2600	0,2	5,6	0,52	292

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet

b) Messungen des Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, München-Neuherberg
Probenentnahmestelle: München-Neuherberg

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m^3				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
2000	3030	0,4	< 0,06	1,7	420
2001	2820	0,34	< 0,059	1,53	417
2002	3040	< 0,31	k. A.	1,44	475
2003	3250	< 0,30	< 0,07	1,61	476
2004 *	2590	< 0,28	< 0,07	0,96	352
2005 *	2970	< 0,40	< 0,07	1,03	494
2006 *	3010	< 0,29	< 0,07	1,06	431
2007 *	3010	< 0,32	k. A.	0,93	357
2008 *	3050	< 0,28	k. A.	0,87	328
2009	a	a	a	a	a

< Messwert kleiner Nachweisgrenze
* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
a Daten liegen nicht vor

c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main
Probenentnahmestellen: Schleswig, Offenbach/Main, Berlin und Aachen

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
2000	2168	< 3,3	2892	< 2,9	2898	< 3,8	2735	< 1,6
2001	1930	< 3,4	2760	< 3,1	2870	< 3,7	2550	< 2,2
2002	2284	< 3,6	2769	1,3	2821	1,6	2803	< 2,6
2003	2233	< 3,7	1451	0,5	1387	0,8	1606	< 2,8
2004	2240	< 4,2	2870	0,4	2510	0,6	2870	< 2,8
2005 *	2320	< 4,4	3020	0,4	2840	0,6	3080	< 2,8
2006 *	2913	< 4,6	3910	0,5	3746	1,1	3932	< 3,4
2007 *	3021	< 3,3	3684	0,3	3312	0,6	3711	< 2,9
2008 *	2900	< 1,2	3950	0,3	3580	0,4	3890	< 2,5
2009 *	2710	< 0,9	3830	0,5	3730	0,6	3320	2,6
Januar	2590	< 0,7	2800	1,1	2770	0,7	2850	3,4
Februar	1380	< 0,6	1930	0,6	1810	0,5	1390	1,8
März	2190	< 0,6	3300	0,3	2630	0,4	2610	< 1,3
April	3840	< 1,0	4490	0,4	6120	0,8	4080	1,9
Mai	3160	< 0,7	5580	0,2	4590	0,4	4610	< 1,3
Juni	2490	< 0,6	5670	< 0,2	4250	< 0,2	4430	< 0,8
Juli	3580	< 0,9	5010	0,1	4520	0,2	4620	< 1
August	3350	< 1,1	4790	< 0,2	5170	0,3	4270	0,6
Sept.	3340	< 1,2	3620	0,2	4650	0,5	3200	< 1,6
Oktober	1880	< 1,0	3200	0,6	2520	0,5	3230	1,1
November	2420	< 1,2	3160	0,4	3300	0,4	2760	0,8
Dezember	2280	< 1,2	2410	0,5	2480	0,6	1730	0,9

< Messwert kleiner Nachweisgrenze
* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
Probenentnahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³	
	Be-7	Cs-137
2000	3494	0,43
2001	3767	0,45
2002	4540	0,6
2003 *	3870	0,44
2004 *	4050	< 0,35
2005 *	4960	< 0,4
2006 *	4960	0,40
2007 *	4770	0,34
2009 *	5080	0,35
Januar	4590	0,46
Februar	2550	0,21
März	3810	0,26
April	5370	0,47
Mai	6690	0,37
Juni	6460	0,23
Juli	6560	0,27
August	7030	0,37
September	5160	0,40
Oktober	5850	0,25
November	4210	0,27
Dezember	2640	0,66

< Messwert kleiner Nachweisgrenze
* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

e) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m³			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
2000	1641	3,4	1692	5,6
2001	1573	5,4	1593	8,0
2002	1604	5,0	1695	5,7
2003 *	1700	7,5	1680	6,5
2004 *	1780	6,0	1790	5,9
2005 *	1690	5,6	1652	4,9
2006 *	1710	6,0	1660	6,5
2007 *	1590	9,3	1550	6,6
2008 *	1610	5,5	1570	5,0
2009 *	1760	3,9	1650	4,2
Januar	1510	3,2	980	< 2,3
Februar	2260	3,7	1890	6,1
März	1950	6,0	1769	6,7
April	1800	3,9	1735	8,7
Mai	1900	4,1	1848	2,9
Juni	2200	4,7	1998	3,2
Juli	1500	< 1,8	1467	1,8
August	1550	2,4	1622	2,7
September	2170	3,5	2132	2,6
Oktober	1530	7,1	1525	8,6
November	1400	3,5	1405	2,4
Dezember	1370	2,9	1396	2,8

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Radiochemie

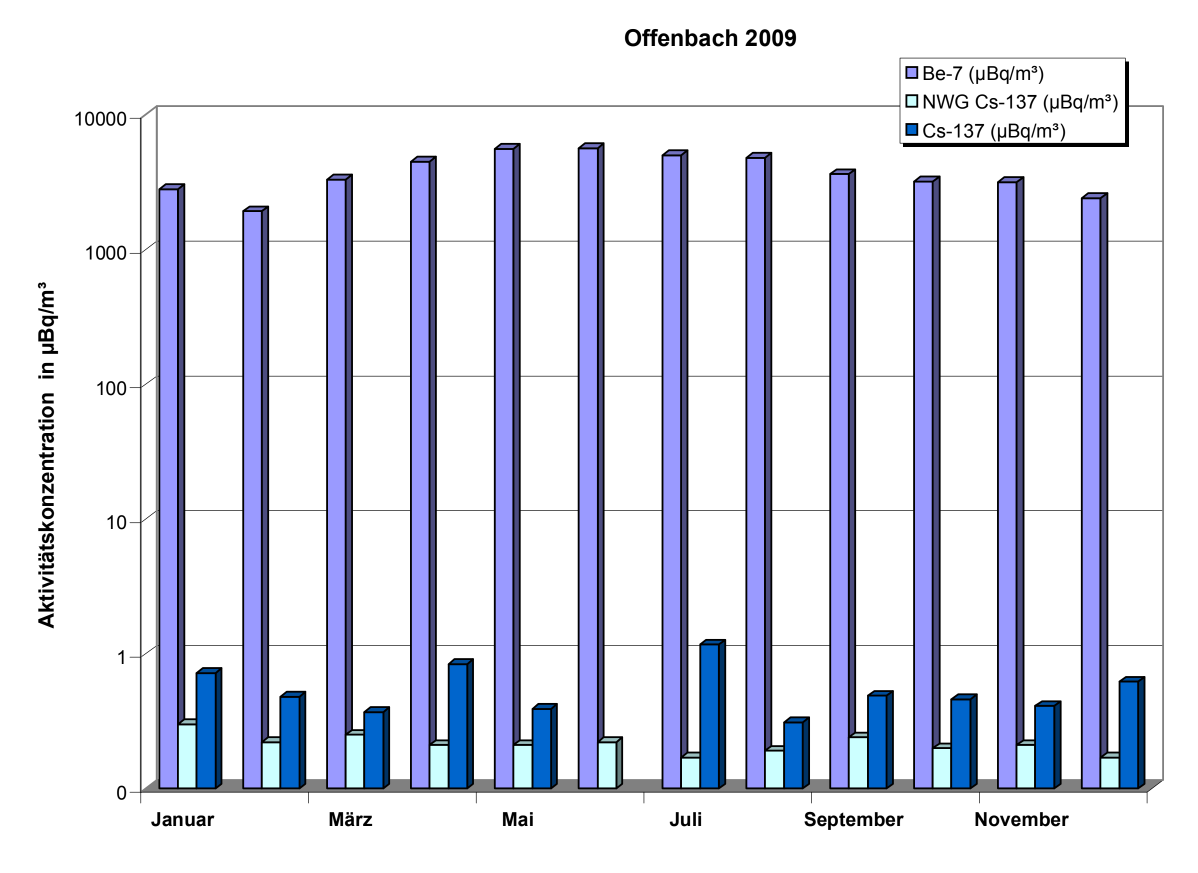
Im Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter der Messstationen Berlin, München, Offenbach und Schleswig zur Bestimmung von Sr-90, Uran-, Plutonium- und Americium-Isotopen in Monatsmischproben radiochemisch analysiert. Für das schwebstoffgebundene U-234 wurden Aktivitätskonzentrationen im Bereich von 0,11 bis 0,44 µBq/m³ Luft ermittelt. Für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,10 und 0,44 µBq/m³ Luft festgestellt. Diese Messwerte lagen im Bereich der natürlichen Schwankungen. Die Nachweisgrenze des Sr-90 wurde mit Werten zwischen 0,07 und 0,83 µBq/m³ Luft bestimmt. Die Messwerte für Sr-90 sind im Vergleich zu den Vorjahren erhöht. Die Erhöhung geht mit einer Änderung im Nachweisprozess einher, welche eingeführt wurde, um die Genauigkeit zu verbessern. Gemäß den Vorgaben des Routinemessprogramms werden für die Alphastrahler in der Luft Nachweisgrenzen von 0,1 µBq/m³ und für Sr-90 1 µBq/m³ gefordert. Diese wurden eingehalten.

In der PTB konnten in 2009 keine plausiblen Pu-Messergebnisse ermittelt werden (s. u.). Die Messreihe der Uran-Isotope (Abbildung 2.1.1-7) zeigt auch das Aktivitätsverhältnis A(U-235)/A(U-238), das im Berichtszeitraum im Rahmen der Messunsicherheiten immer im Bereich des zu erwartenden natürlichen Verhältnisses lag. Die Aktivitätskonzentrationen a(U-234) und a(U-238) lagen wie im Vorjahr zwischen 0,1 und 0,5 µBq/m³. Die Aktivitätskonzentrationen a(U-235) liegen mit Messwerten zwischen 0,004 und 0,024 µBq/m³ ebenfalls im Bereich des Vorjahres. Das Aktivitätsverhältnis A(U-235)/A(U-238) lag in allen Proben innerhalb der Messunsicherheiten bei dem für Natururan zu erwartenden Wert von 4,7%. Die Aktivitätskonzentration a(Sr-90) konnte im Berichtsjahr nicht in allen Monatsproben bestimmt werden, weil der radiochemische Trennungsgang noch nicht optimal an das in Luftstaubproben befindliche Aktivitätsniveau angepasst ist.

Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen lagen mit 0,04 µBq/m³ Luft und 0,09 µBq/m³ Luft im üblichen Bereich.

Ziel der laufenden Arbeiten zur Optimierung eines radiochemischen Trennungsganges für Luftstaubaschen auf Basis der Ionenchromatographie ist die weitere Verringerung der radiochemischen Blindwerte. Der Trennungsgang funktioniert im Prinzip, jedoch sind die Beiträge der radiochemischen Blindwerte zu den Zählraten, insbesondere der Pu- und der Sr(Y)-Messpräparate noch relativ hoch. Sie liegen in der Größe der aus den Luftstaubproben zu erwartenden Zählraten von einigen 10^{-3} Impulsen pro Sekunde für Sr-90/Y-90 und Pu-(239+249). Die vom Pu-238 zu erwartenden Zählraten können - je nach Luftstaubmasse der Probe und der erreichten radiochemischen Ausbeute - im Bereich von 10^{-4} Impulsen pro Sekunde liegen.

Im radiochemischen Labor der Dienstelle Freiburg des BfS wurde im Laufe des Berichtsjahres mit dem Umbau zur Modernisierung begonnen, so dass ab Mai 2009 keine radiochemischen Arbeiten durchgeführt werden konnten. Die zwischenzeitlich angefallenen Proben werden nach Wiederinbetriebnahme des Labors analysiert.



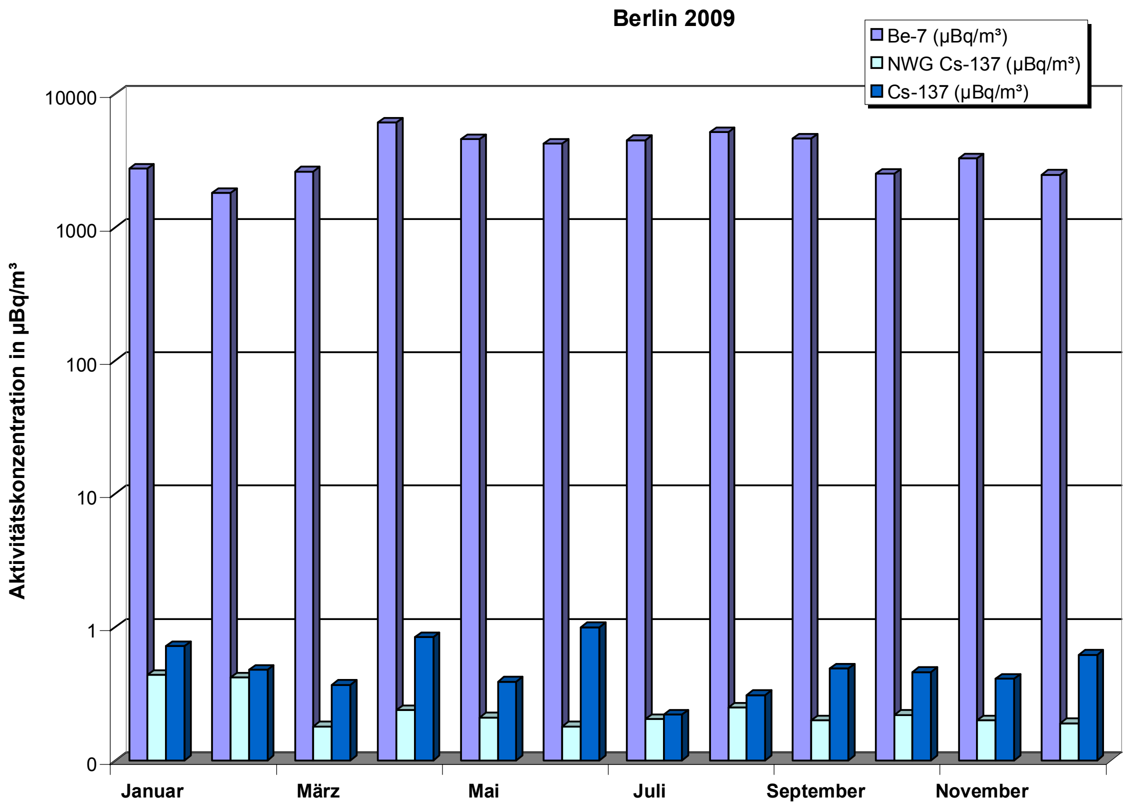


Abbildung 2.1.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2009 - DWD-Stationen Berlin und Offenbach

(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2009 at the DWD stations in Berlin and Offenbach)

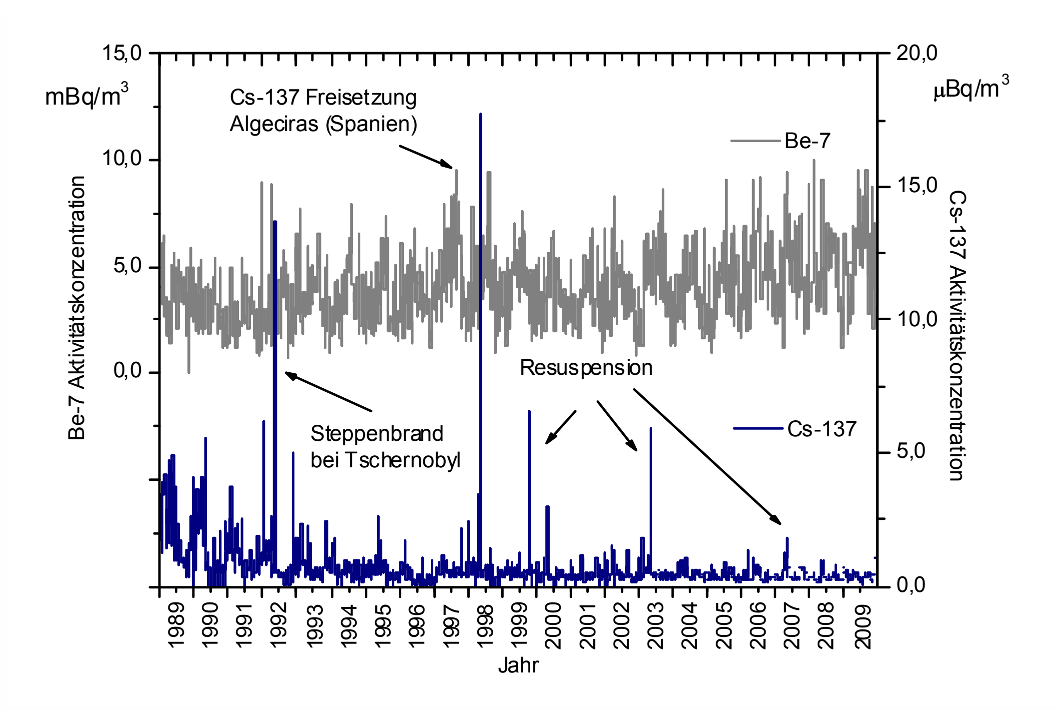


Abbildung 2.1.1-4: Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland

(Activity concentration of Cs-137and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

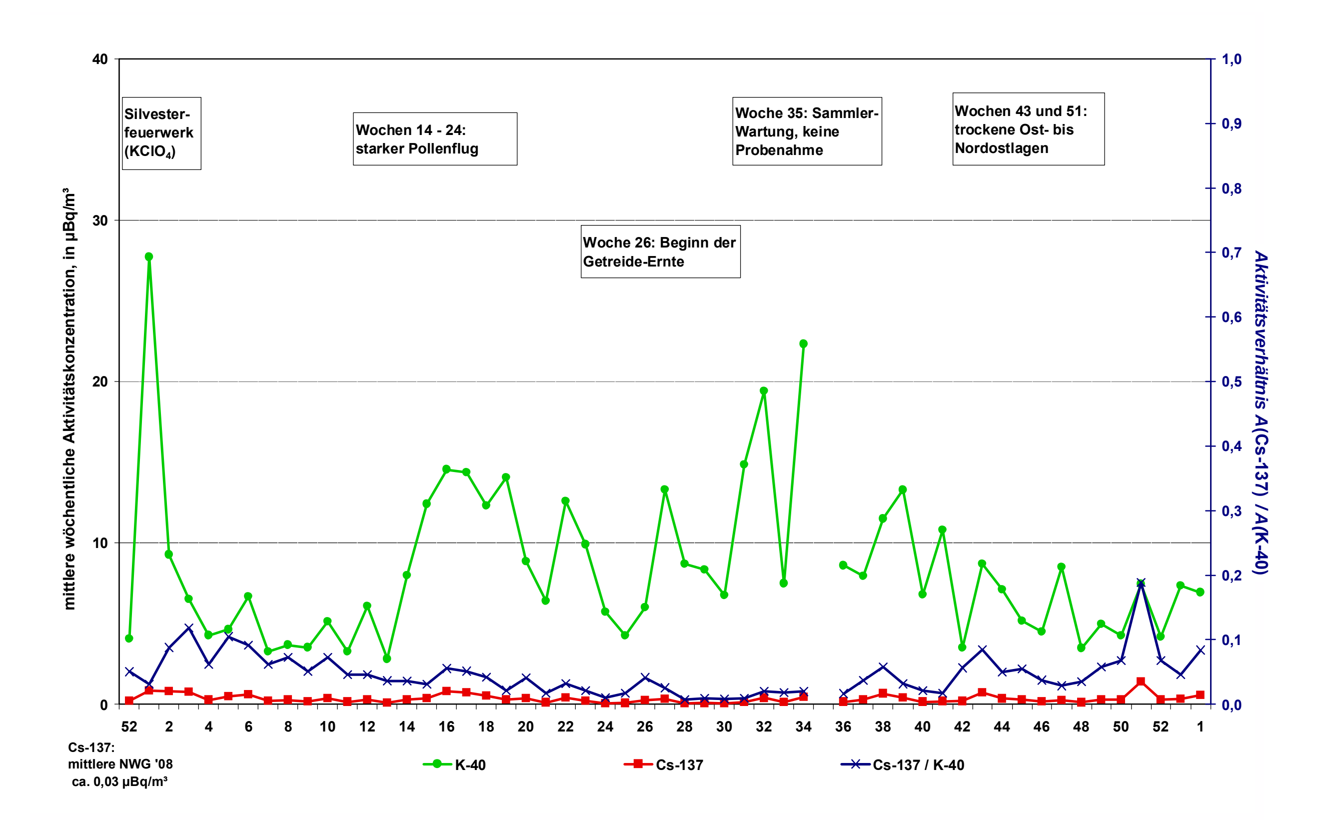


Abbildung 2.1.1-5: Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2009 am Probenentnahmeort Braunschweig

(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2009)

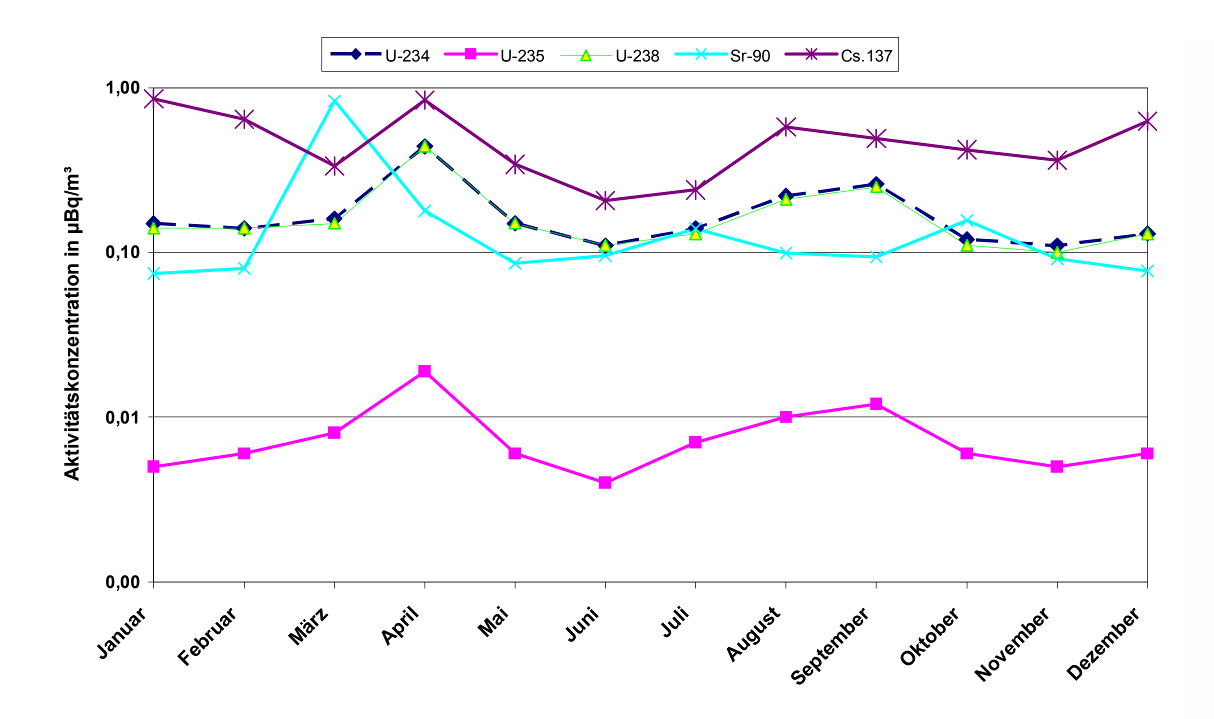


Abbildung 2.1.1-6 **Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft für das Jahr 2009 am Probenentnahmeort Berlin**

(Activity concentrations and activity ratio in ground-level air at the sampling site Berlin from 2009)

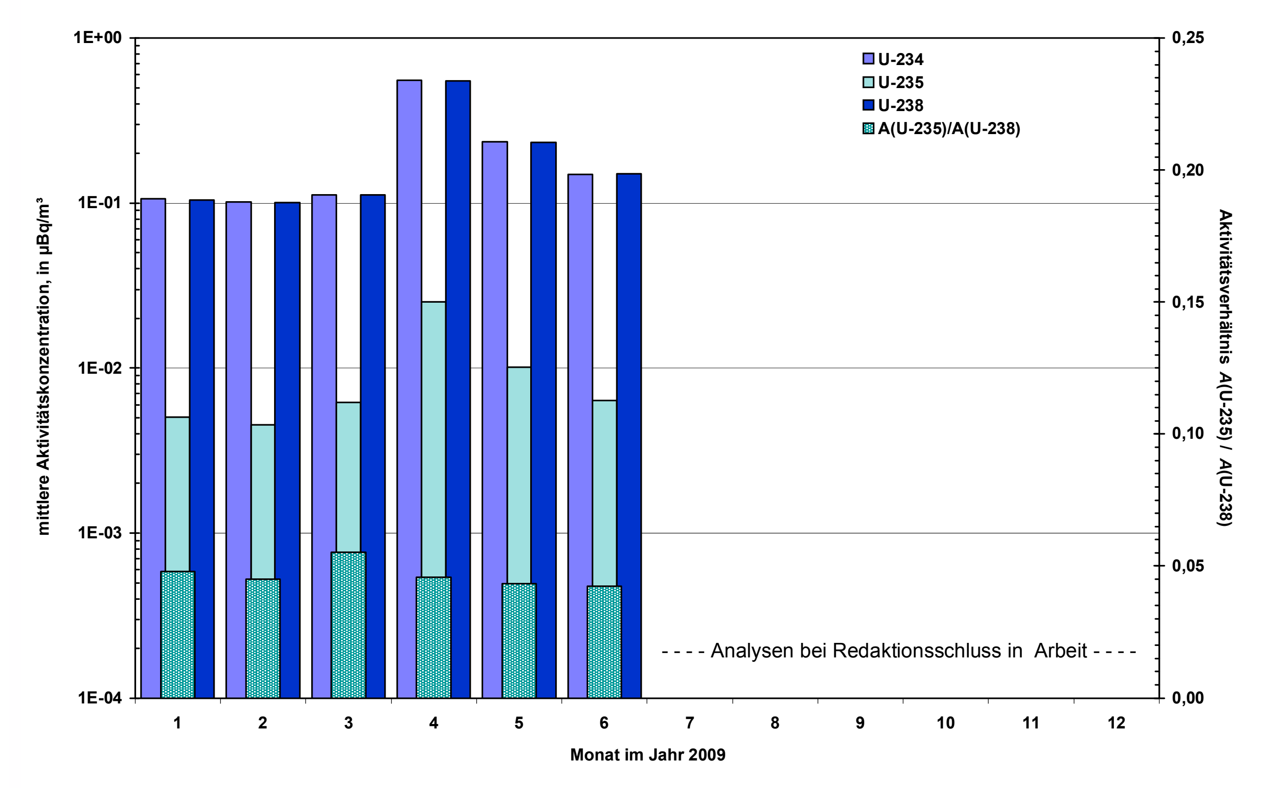


Abbildung 2.1.1-7 **Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von Uran-Nukliden in der bodennahen Luft für das Jahr 2009 am Probenentnahmeort Braunschweig**

(Activity concentrations and activity ratio of uranium nuclides in ground-level air at the sampling site Braunschweig from 2009)

2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)
(Total deposition of radionuclides)

Gesamt-β-Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde die Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2009 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 65 Bq/m^2 (2008: 59 Bq/m^2).

Der Messwert liegt im Schwankungsbereich der Messunsicherheiten, so dass der erhöhte Wert gegenüber 2008 keinen Trend darstellt. Somit ist keine Veränderung zum Vorjahr nachweisbar. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt, im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 2.1.2-1 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt-ß-Aktivität von 1957 bis 2009 in Bq/m^2. Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 2.1.2-2. Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Gammaspektrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ-spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen 0,2 bis 20 mBq/l in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig in den Tabellen 2.1.2-1 a) und b) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2009 ähnlich denen im Jahr 2008. Die Abbildung 2.1.2-3 zeigt für die Messstationen Offenbach und Berlin die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die monatliche Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 lagen die Nachweisgrenzen zwischen 0,04 Bq/m^2 und 0,14 Bq/m^2. Für das kosmogene Be-7 wurden Messwerte zwischen 0,6 und 120 Bq/m^2 (Offenbach) und Messwerte zwischen 0,9 und 49,3 Bq/m^2 (Berlin) anhand von Monatsproben ermittelt.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Berlin, München, Offenbach und Schleswig bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, H-3 sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betrugen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. 0,06 bis 0,56 mBq/l, für Pu-(239+240) und Am-241 Werte von 0,004 bis 0,24 mBq/l und für H-3 0,46 Bq/l nach elektrolytischer Anreicherung. Natürlich vorkommendes schwebstoffgebundenes U-234 und U-238 wurde ausgewaschen und im Niederschlag mit Werten von 0,02 mBq/l (Berlin, Juni 2009, 79,9 Liter Niederschlag) bis 1,1 mBq/l (Berlin, Januar 2009, 12,3 Liter Niederschlag) gemessen. In den Monaten mit erhöhten Aktivitätskonzentrationen in der Luft muss auch mit entsprechend höheren Werten im Niederschlag gerechnet werden. Die geforderten Nachweisgrenzen für Sr-90 mit 1 mBq/l und für Pu-(239+240) mit 0,02 mBq/l wurden meist eingehalten. Die Nachweisgrenzen sind bei einer mittleren Niederschlagsmenge von 70 l/m^2 und Monat erreichbar.

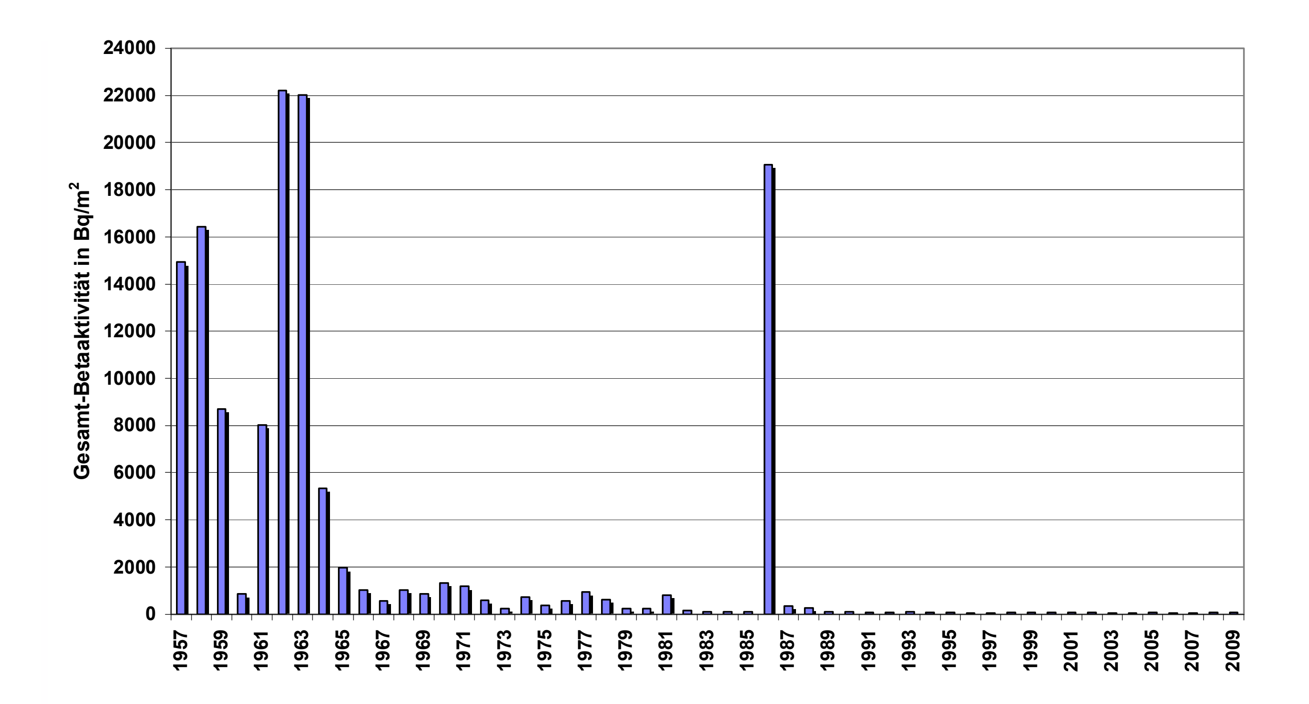


Abbildung 2.1.2-1 **Langlebige Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2009**
(Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2009)

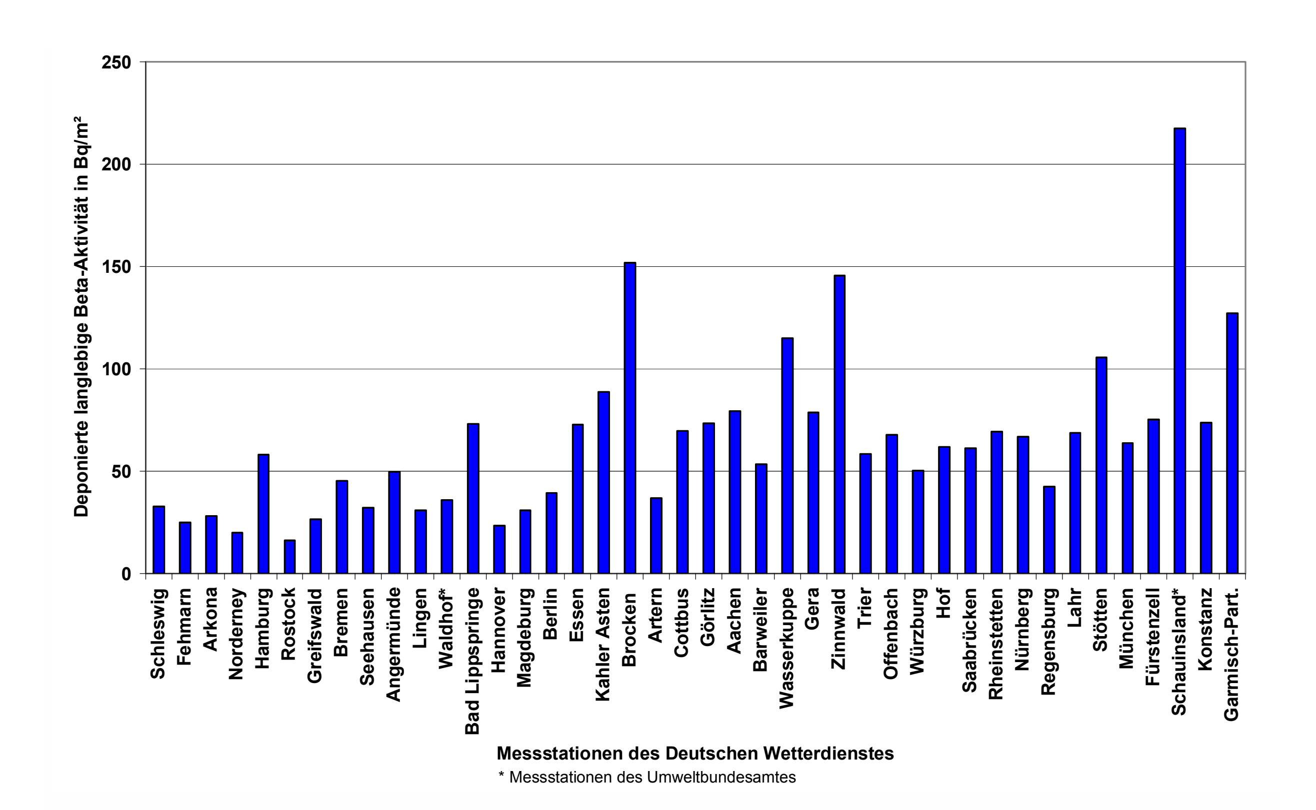


Abbildung 2.1.2-2 **Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2009 zugeführte langlebige Gesamt-β-Aktivität – stationsspezifische Jahressummen**
(Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2009)

Tabelle 2.1.2-1 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation)

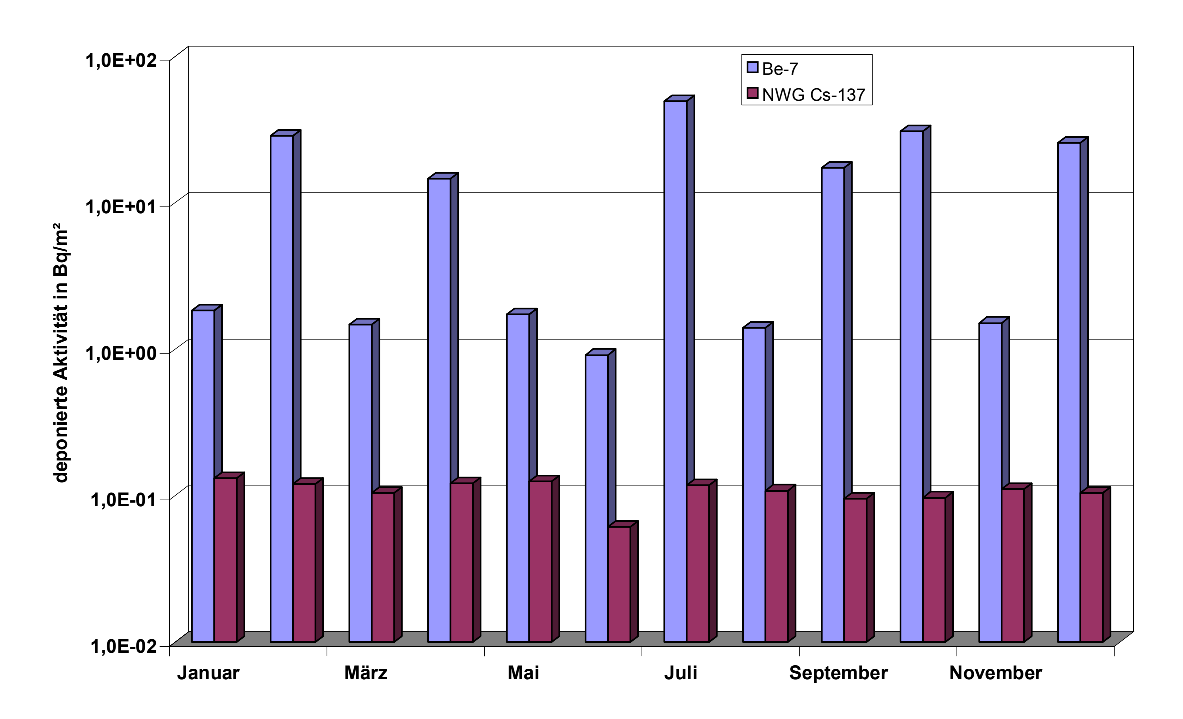
a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2000	736,2	828	< 0,55	590,3	449	< 1,48
2001	826,1	725	< 0,84	596,2	501	< 1,70
2002	735,9	718	< 0,82	736,8	608	< 1,83
2003	239,9	162	< 0,56	212,9	74	< 0,77
2004	617,6	567	< 0,92	533,2	363	< 1,38
2005	559,2	639	< 0,46	590,2	308	< 1,37
2006	620,3	860	< 0,56	451,5	361	< 1,56
2007	677,3	458	< 0,57	846,5	191,95	< 1,45
2008	557,5	369	< 0,83	568,0	83,4	< 1,38
2009	782,5	190	< 0,85	631,2	175	< 1,30
Januar	35,1	< 1,1	< 0,06	17,8	< 1,8	< 0,13
Februar	59,8	< 1,3	< 0,08	48,1	28,7	< 0,12
März	57,0	< 1,0	< 0,07	41,7	1,5	< 0,10
April	31,9	59,7	< 0,09	3,6	< 14,7	< 0,12
Mai	82,8	1,4	< 0,04	87,9	1,7	< 0,13
Juni	98,6	< 0,81	< 0,05	95,5	< 0,91	< 0,06
Juli	92,7	< 1,18	< 0,06	69,8	< 49,3	< 0,12
August	77,2	120	< 0,14	28,0	< 1,4	< 0,11
September	37,3	< 0,6	< 0,05	29,7	< 17,3	< 0,10
Oktober	50,3	1,1	< 0,08	84,0	< 30,7	< 0,10
November	84,2	< 1,1	< 0,06	68,6	1,5	< 0,11
Dezember	75,6	< 1,3	< 0,07	56,5	< 25,7	< 0,10

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2000	946,3	1.028	< 1,06	736,3	619	< 1,08
2001	950,8	935	< 1,24	874,9	515	< 1,22
2002	945,0	1.019	< 1,08	1.083,3	771	0,81 - < 2,06
2003	467,6	286	< 0,68	377,4	304	< 0,64
2004	888,8	1.013	< 0,82	892,4	676	< 1,07
2005	716,4	787	<0,84	763,1	669	< 1,08
2006	799,3	950	< 0,83	768,6	537	< 1,01
2007	950,1	735	< 0,9	1.004,7	319	< 0,99
2008	909,2	442	< 0,76	952,7	155,4	< 0,88
2009	578,9	632	< 0,74	822,9	331	< 0,9
Januar	25,4	< 1,0	< 0,06	19,1	< 1,0	< 0,08
Februar	52,4	< 1,0	< 0,07	31,5	< 38,5	< 0,08
März	62,4	< 84,4	< 0,03	49,2	1,0	< 0,08
April	41,7	1,2	< 0,07	5,9	9,2	< 0,07
Mai	43,1	< 68,2	< 0,07	43,2	< 1,1	< 0,07
Juni	56,3	< 122,0	< 0,08	55,8	< 40,6	< 0,07
Juli	60,5	89,0	< 0,09	87,5	< 61,9	< 0,07
August	34,8	< 42,7	< 0,07	53,6	< 1,1	< 0,08
September	19,3	1,0	< 0,07	31,5	< 25,8	< 0,08
Oktober	58,6	< 58,7	< 0,07	66,8	< 75,6	< 0,06
November	57,4	< 41,0	< 0,04	100,4	74,2	< 0,07
Dezember	67,0	123,0	< 0,03	59,6	1,3	< 0,07

< Messwert kleiner Nachweisgrenze



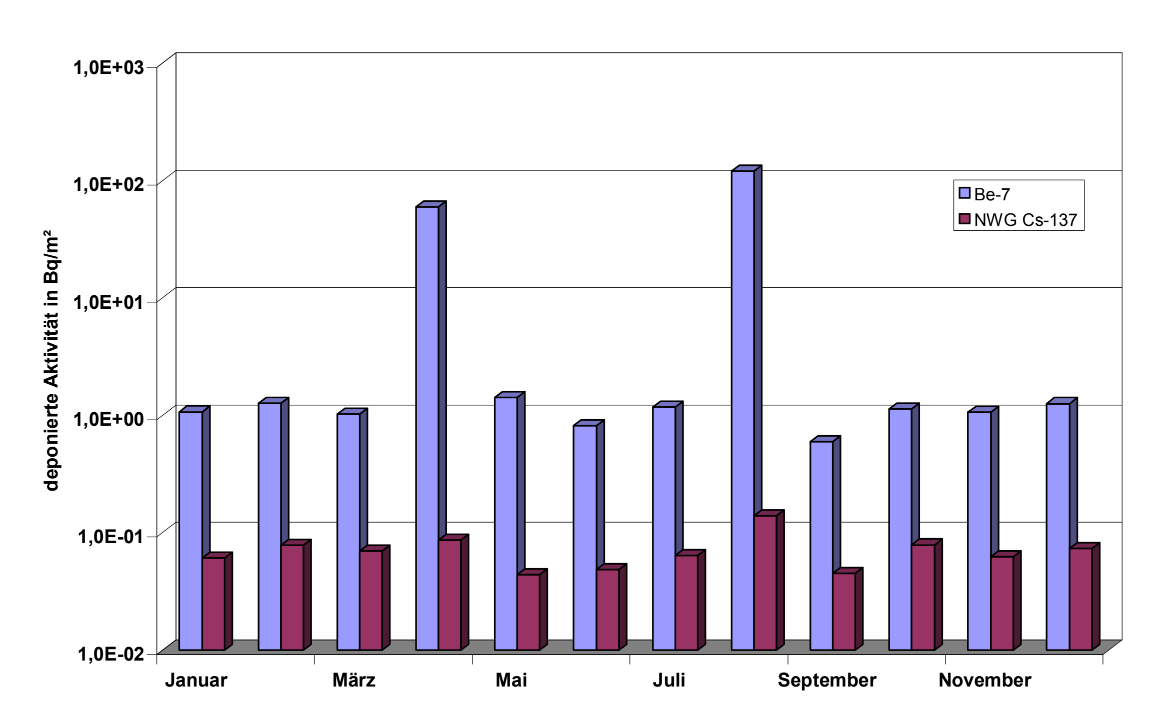


Abbildung 2.1.2-3 **Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2009 DWD-Stationen Berlin und Offenbach**

(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2009 - DWD stations in Berlin and Offenbach)

2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung
(Ambient gamma dose rate)

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ-Ortsdosisleistung über Deutschland sind im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ-Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 60 und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,5 bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Spitzenwerte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden. Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1.500 Höhenmeter. Abbildung 2.1.3-1 gibt einen Überblick über die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition bei einem angenommenen Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien.

Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurück zu führenden künstlichen Beiträge zur γ-Ortsdosisleistung (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten der ODL-Messstellen mit In-situ-Messfahrzeugen des Bundes und der Länder nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden in der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Mit Hilfe der im Ereignisfall durchzuführenden In-situ-Messungen lassen sich für eine eventuelle, frische Kontamination des Untergrundes/Bodens die Radionuklide und deren Aktivität schnell bestimmen.

Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ-Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von natürlichen Radon-Folgeprodukten aus der Luft zurückzuführen. Üblicherweise sind dabei nur wenige Messstellen betroffen und es stellen sich innerhalb weniger Stunden wieder die für die betroffenen Standorte typischen Werte ein.

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren wie z. B. wiederkehrende radiologische Sondenprüfung, elektrische Betriebsmittelprüfung und Standortdokumentation. Seit 2006 läuft eine umfangreiche, mehrjährige Modernisierung der Messdatenaufnahme, -verarbeitung und Datenfernübertragung im ODL-Messnetz. Im Zuge der Modernisierung wird auch der Datenumfang nebst zusätzlich gemessenen Qualitätsparametern in den Sonden erweitert. Hierzu bedarf es eines Umbaus der vorhandenen Sonden im ODL-Messnetz, der durch das vorhandene Fachpersonal selbst bewerkstelligt wird. Im Berichtsjahr wurden im Messnetz ca. 300 weitere Messstellen umgerüstet. Die Integration einer kleinen Anzahl von autarken Sonden ohne Strom- und festem Telekommunikationsanschluss in den operationellen Betrieb des ODL-Messnetzes konnte in 2009 ebenfalls fortgesetzt werden.

Gemäß BMU-Erlass wird seit dem zweiten Halbjahr 2007 die Messstellendichte im ODL-Messnetz reduziert. Die mit den Ländern abgestimmte Abbaumaßnahme von Messstellen ist zeitlich bis 2010 gestaffelt und sieht einen Abbau von insgesamt ca. 450 Messstellen vor. Durch die Ausdünnung des ODL-Messnetzes wird sich die Anzahl von ODL-Messstellen auf ca. 1.700 reduzieren.

2.1.4 Radioaktivität in Luft und Niederschlag in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity in air and deposition in the surroundings of nuclear facilities)

Luft

Gemäß der REI (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen) sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und von schwebstoffpartikelgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 5 mBq/m^3 und bei den schwebstoffpartikelgebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei 0,4 mBq/m^3.

Für das gasförmige I-131 wurden nur Nachweisgrenzen gemessen. Damit hat sich gegenüber dem Vorjahr nichts verändert (Tabelle 2.1.4-1).

Die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide lagen 2009, wie im Vorjahr, an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen. Die Messergebnisse sind in Tabelle 2.1.4-2 für das Bezugsnuklid Co-60 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ–Dosisleistung (Tabelle 2.1.4-3) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. Durch den Austausch von Messsystemen treten bauart- und empfindlichkeitsbedingte Veränderungen des gemessenen Pegels der Umgebungsäquivalentdosisleistung auf.

Zum Einen können hierfür stark differierende Eigennulleffekte der Messgeräte oder die Überschätzung der kosmischen Komponente des Strahlungsfeldes der Grund sein oder andere bauartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit des Messgerätes.

Im Falle des KKW Neckarwestheim zeigt hier der Austausch von Szintillationssonden durch Proportionalzählrohre im Jahre 2005 einen um einen Faktor von ca. 2 höheren Ortsdosisleistungswert.

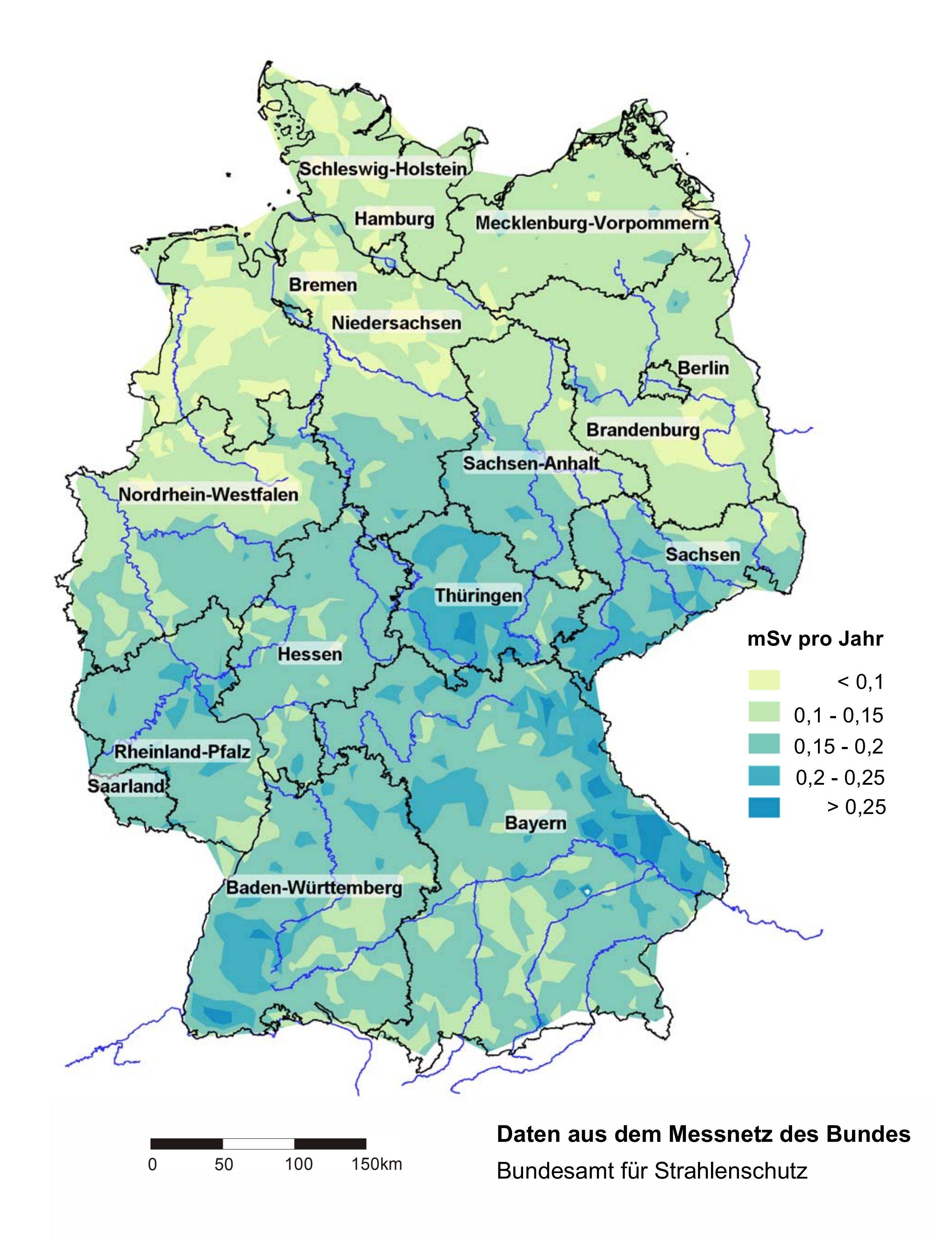


Abbildung 2.1.3-1 **Externe Strahlenexposition im Jahr 2009 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien**

(External radiation exposure 2009, spending 5 hours per day outdoors)

Niederschlag

Gemäß REI ist die Aktivitätskonzentration des Niederschlags gammaspektrometrisch zu ermitteln. Aus den Aktivitätskonzentrationen und den Niederschlagsmengen wird die Deposition berechnet. Aus den Monatsdepositionen in Becquerel pro Quadratmeter werden Jahresmittelwerte gebildet und berichtet. Als Nachweisgrenze für die Konzentrationsmessung bezogen auf Co-60 werden 0,05 Bq/l gefordert. Die Niederschlagsmenge pro Monat liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen 0,5 Bq/m^2 und 5 Bq/m^2 resultieren können. Es liegen keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen vor. In Tabelle 2.1.4-4 sind die Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst. Höhere Messwerte erklären sich häufig aus der Resuspension von bereits deponierten schwebstoffgebundenen Radionukliden, deren Verfrachtung mit dem Wind und abschließender Deposition.

Tabelle 2.1.4-1 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)
(in mBq/m^3 Messwerte der Betreiber)

Probennahmestelle	N	I-131 (mBq/m^3)						
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
BER Berlin	2	[< 0,22]^{6}	< 0,33	[< 0,32]^{9}	< 0,26	[< 0,40]^{9}	< 0,4	< 0,5
KKB Brunsbüttel	2	[< 0,21]^{3}	< 0,32	[< 0,29]^{9}	< 0,3	< 0,31	< 0,29	< 0,29
KBR Brokdorf	2	[< 0,35]^{3}	< 0,39	[< 0,36]^{9}	< 0,39	< 0,50	< 0,57	< 0,39
KKK Krümmel	3	[< 0,38]^{3}	< 0,37	[< 0,39]^{9}	< 0,36	< 0,35	< 0,33	< 0,31
GKSS Geesthacht	1	[< 0,24]^{3}	< 0,24	[< 0,24]^{9}	< 0,24	< 0,23	< 0,20	< 0,19
KKS Stade	1	[< 0,45]^{6}	[< 0,41]^{9}	[< 0,28]^{9}	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
KWG Grohnde	3	< 0,58	< 0,59	< 0,61	< 0,65	< 0,80	< 0,82	< 1,7
KKE Emsland	2	< 0,32	< 0,3	< 0,32	< 0,33	< 0,30	< 0,32	< 0,35
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	1,2**	< 2,0	0,36**	0,47**	0,11**	< 0,2	< 0,2
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	2	[< 0,74]^{9}	[< 0,56]^{6}	[< 0,7]^{3}	< 0,66	< 0,80	< 0,66	< 0,63
KKP Philippsburg	4	<0,53	< 0,49	< 0,49	< 0,5	< 0,49	< 0,49	< 0,5
KWO Obrigheim	3	<0,64	< 0,37	< 0,34	< 0,18	< 0,16	< 0,22	*
GKN Neckarwestheim	2	<0,6	< 0,65	< 0,73	< 0,68	< 0,66	< 0,66	< 0,64
FZ Karlsruhe		*	*	*	-	-	-	-
KKI Isar	3	-	-	-	[< 0,29]^{9}	< 0,30	[< 0,29]^{9}	< 0,25
KKG Grafenrheinfeld	3	-	-	-	[< 0,5]^{9}	< 0,52	[< 0,54]^{9}	[< 0,48]^{9}
KRB Gundremmingen II	3	-	-	-	[< 0,27]^{9}	< 0,33	[< 0,26]^{9}	[< 0,34]^{9}
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	< 0,06	< 0,06	[< 0,35]^{6}	+	-	-	-
KKR Rheinsberg		*	*	*	-	-	-	-
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	*	*	-	-	-

N Zahl der Messstationen
- keine Messwerte
[ ]^{i} unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)
* Messungen eingestellt
+ keine Messung im bestimmungsgemäßen Betrieb
** Mittelwert aus 2 Messwerten im 3. Quartal einer Messstelle, die Werte lagen sonst unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 2 mBq/m^3

Tabelle 2.1.4-2 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)
(in mBq/m^3 Messwerte der Betreiber)

Probennahmestelle	N	Co-60 (mBq/m^3)						
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
BER Berlin	2	[< 0,02][3]	< 0,02	[< 0,02][9]	< 0,02	[< 0,25][9]	< 0,3	< 0,29
KKB Brunsbüttel	2	[< 0,06][3]	< 0,06	[< 0,05][9]	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
KBR Brokdorf	2	[< 0,16][3]	< 0,18	[< 0,17][9]	< 0,18	< 0,18	< 0,21	< 0,18
KKK Krümmel	3	[< 0,07][3]	< 0,07	[< 0,06][9]	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,07
GKSS Geesthacht	1	[< 0,03][3]	< 0,06	[< 0,06][9]	< 0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04
KKS Stade	1	[< 0,28][6]	[< 0,18][9]	[< 0,15][9]	< 0,26	< 0,31	< 0,23	< 0,2
KKU Unterweser	2	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,4
KWG Grohnde	3	< 0,11	< 0,11	< 0,12	< 0,11	< 0,11	< 0,12	< 0,14
KKE Emsland	2	< 0,17	< 0,18	< 0,18	< 0,21	< 0,18	< 0,20	< 0,19
KWW Würgassen	2	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,1
FZ Jülich	3	[< 0,40][3]	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,40	< 0,40	< 0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	3	[< 0,22][9]	[< 0,17][6]	[< 0,18][3]	< 0,2	< 0,22	< 0,18	< 0,19
KKP Philippsburg	4	< 0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
KWO Obrigheim	3	< 0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,06	< 0,05	< 0,04	< 0,04
GKN Neckarwestheim	2	< 0,14	< 0,14	< 0,15	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,12
FZ Karlsruhe	3	[< 0,01][9]	[< 0,01][6]	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,006	< 0,007
KKI Isar	3	-	-	-	[< 0,21][9]	< 0,22	[< 0,21][9]	< 0,21
KKG Grafenrheinfeld	3	-	-	-	[< 0,062][9]	< 0,064	[< 0,067][9]	[< 0,06][9]
KRB Gundremmingen II	3	-	-	-	[< 0,14][6]	< 0,18	[< 0,14][9]	[< 0,18][9]
KGR Greifswald	2	[< 0,03][9]	< 0,002	< 0,002	[< 0,002][9]	< 0,28	[< 0,25][9]	[< 0,08][9]
VKTA Rossendorf	3	< 0,02	< 0,002	[< 0,002][6]	< 0,002	< 0,016	< 0,01	< 0,013
KKR Rheinsberg	2	< 0,10	< 0,09	< 0,08	< 0,08	< 0,09	< 0,09	< 0,10
KMK Mülheim-Kärlich	2	< 0,20	< 0,15	[< 0,2][6]	< 0,14	< 0,12	< 0,18	< 0,19

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte

[ ][i] unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) * Messungen eingestellt

Tabelle 2.1.4-3 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)

(γ-Ortsdosisleistung in nSv/h, Messwerte der Betreiber)

Probennahmestelle	N	γ-Ortsdosisleistung in nSv/h						
		2003	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
BER Berlin	2	[70][6]	72	72	72	73	a	[73][9]
KKB Brunsbüttel	2	a	84	82	84	82	85	83
KBR Brokddorf	2	a	59	60	59	58	59	58
KKK Krümmel	3	a	59	57	58	61	57	53
GKSS Geesthacht	1	92[b]	[82][6]	84	85	86	89	88
KKS Stade	1	[60][6 y]	[59][9 y]	87[MT]	97	99	107	104
KKU Unterweser	2	89	93	94	98	101	102	104
KWG Grohnde	3	86	85	83	86	80	77	84
KKE Emsland	2	65	74	75	75	75	76	76
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	57	56	62[MT]	79	83	84	97[MT]
THTR Hamm-Uentrop	2	86	85	85	86	88	100[l]	103[l]
KWB Biblis	3	[93][9]	94	[95][3]	96	103	106	106
KKP Philippsburg	4	[100][9]	103	106	105	99	100	100
KWO Obrigheim	2	105	103	101	102	115	120	120
GKN Neckarwestheim	2	[55][9]	53	119[MT]	119	113	111	121
FZ Karlsruhe	6	[80][3]	[81][6]	83	83	83	83	84
KKI Isar [c]	3	a	a	a	99	97	[96][9]	[94][9]
KKG Grafenrheinfeld [c]	3	a	a	a	104	105	[104][9]	[105][9]
KRB Gundremmingen II [c]	3	a	a	a	65	64	[67][9]	[66][9]
KGR Greifswald	20	80	81	81	84[j]	83[j]	83[j]	83[j]
VKTA Rossendorf	3	[111][6]	112	111	[115][9]	[112][6 k]	115[k]	119[k]
KKR Rheinsberg	4	98	94[z]	87[z]	84	90[z]	85[z]	99[z]
KMK Mülheim-Kärlich	2	117	119	[125][6MT]	127	125 [MT]	113	115

N Zahl der Messstationen
* Messungen eingestellt
[ ]i umvollständige Messsreihe (i: Anzahl der Monate)
MT Austausch des Messsystems
a Daten liegen nicht vor
b zeitweise Messung mit ungeeichtem Leihgerät
c teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige
j Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsüberwachungsprogramm
k Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert, gemäß überarbeitetem Immissionsüberwachungsprogramm
y Ersatzwert Sonde NLÖ unweit abgebauter Sonde
z Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert (Bedingungen des Restbetriebes)
l leicht erhöhte ODL-Messwerte an einer Messstelle durch Bodenbearbeitung im Umfeld der Messstelle (Einbringung von Kalksteinschotter)

Tabelle 2.1.4-4 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probennahmestelle	N	Aktivität in Bq/m^2 oder in Bq/l							
		2006	**2006**	**2007**	**2007**	**2008**	**2008**	**2009**	**2009**
		(Bq/l)	**(Bq/m^2)**	**(Bq/l)**	**(Bq/m^2)**	**(Bq/l)**	**(Bq/m^2)**	**(Bq/l)**	**(Bq/m^2)**
BER Berlin	1		[< 0,28][9]		[< 0,35][9]		< 1,4		[< 0,36][9]
KKB Brunsbüttel	2		< 1,3		< 0,8		< 0,87		< 0,8
KBR Brokddorf	2		< 1,5		< 1,6		< 1,6		< 1,5
KKK Krümmel	4		< 0,44		< 0,75		< 0,56		< 0,48
GKSS Geesthacht	2		< 1,5		< 2,1		< 1,6		< 1,4

Probennahmestelle	N	Aktivität in Bq/m^2 oder in Bq/l							
		2006	2006	2007	2007	2008	2008	2009	2009
		(Bq/l)	(Bq/m^2)	(Bq/l)	(Bq/m^2)	(Bq/l)	(Bq/m^2)	(Bq/l)	(Bq/m^2)
KKS Stade	2		< 1,7		< 2,4		< 1,7		< 1,7
KKU Unterweser	2		< 0,8		< 1,4		< 0,61		< 0,52
KWG Grohnde	2		< 2,0		< 3,6		< 2,3		< 1,6
KKE Emsland	2		< 0,68		< 0,74		< 0,70		< 0,64
KWW Würgassen	2	< 0,05	+	< 0,006	+	<0,007		<0,006	
FZ Jülich	1	< 0,05	0,3(**)	< 0,05	+	<0,05		<0,05	
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*		*
KWB Biblis	2		< 1,1		< 1,2		< 0,92		< 1,1
KKP Philippsburg	4		< 1,4		< 1,5		< 1,4		< 1,4
KWO Obrigheim	2		< 1,4		< 3,6		< 2,7		< 2,4
GKN Neckarwestheim	2	0,04	+		< 2,0		< 1,8		< 1,8
FZ Karlsruhe	3		< 2,8		< 2,6		< 2,6		< 2,7
KKI Isar	3		[< 2,7][9]		< 2,8		[< 2,8][9]		[< 2,9][9]
KKG Grafenrheinfeld	2		[< 0,52][9]		< 0,51		[< 0,51][9]		[< 0,59][9]
KRB Gundremmingen II	2		[< 3,3][6]		< 3,0		[< 2,0][9]		[< 2,3][9]
KGR Greifswald	2		< 1,8		< 2,5		[< 1,9][9]		< 1,8
VKTA Rossendorf	2		[< 0,38][9]		< 0,46		< 0,54		< 0,51
KKR Rheinsberg	2		< 0,19		< 0,18		< 0,20		< 0,2
KMK Mülheim-Kärlich	2		< 0,52		< 0,59		< 0,68		< 0,92

[ ][i] unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) N Zahl der Messstationen
[d] zeitweiser Defekt bei Probennahme/Messung + nur Konzentrationsangaben
* Messungen eingestellt
** Cs-137

2.1.5 Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)

Die nuklidspezifisch nachgewiesenen Aktivitätsableitungen werden vom Betreiber vierteljährlich und jährlich dokumentiert und an die zuständige Aufsichtsbehörde übermittelt. Aus der lückenlosen Bilanzierung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte des § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) überprüft. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus den Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen und spezifischen Aktivitäten der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser und in Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabellen 2.1.5-1 bis 2.1.5-9).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2009 sind in Tabelle 2.1.5-1 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage, sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (als Kohlenstoffdioxid) und H-3 aufgeführt. Die Jahresaktivitätsableitungen von MZFR, KNK und AVR (siehe Tabelle 1.3-1) sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 2.1.5-5). Die einzelnen in einer Radionuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Radionuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2009 abgeleiteten radioaktiven Edelgase ist aus Tabelle 2.1.5-2 zu ersehen. Tabelle 2.1.5-3 enthält die nuklidspezifischen Aktivitätsableitungen der an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide einschließlich der Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie der Alphastrahler Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242 und Cm-244.

Tabelle 2.1.5-4 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtaktivitätsableitungen für radioaktive Edelgase, an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden und I-131 mit der Fortluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Edelgase war 2009 mit $1,3 \cdot 10^{13}$ Becquerel (Bq) kleiner als 2008 mit $1,6 \cdot 10^{13}$ Bq, die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundene Radionuklide war mit $6,8 \cdot 10^{7}$ Bq kleiner als im Vorjahr mit $1,1 \cdot 10^{8}$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2009 mit $6,6 \cdot 10^{7}$ Bq über dem Vorjahreswert von $5,7 \cdot 10^{7}$ Bq. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

In Tabelle 2.1.5-5 sind die Angaben über die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht, Berlin und den Forschungsreaktoren in Garching und Mainz im Jahr 2009 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage, inklusive Strontiumisotope und Alphastrahler, sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (in allen chemischen Verbindungen) und H-3 zusammengefasst.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten an Schwebstoffen gebundenen alphastrahlenden Radionuklide ermittelt (Tabelle 2.1.5-6). Die 2009 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen in Lingen und Gronau beträgt $<4{,}5 \cdot 10^4$ Becquerel.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle 2.1.5-7 zusammengestellt. Am Schacht Bartensleben, welcher Teil der Anlage „Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben“ (ERAM) und der genehmigte Emittent ist, werden jährlich etwa 1 Milliarde Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich über Stahlblech-Rohrleitungen (Abwetterlutten) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse 2 ist für die Jahre 2008 und 2009 in den Tabellen 2.1.5-8 und 2.1.5-9 zusammengestellt. Seit dem Jahr 2009 wird bei der Schachtanlage Asse 2 ein geändertes Bilanzierungsverfahren eingesetzt, das die gasförmigen Radionuklide H-3, C-14 und Rn-222 und die an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide ausweist, jedoch nicht mehr explizit die kurzlebigen Radon-Folgeprodukte. Deshalb sind für einen Vergleich der Aktivitätsableitungen der Jahre 2008 und 2009 zwei Tabellen erstellt worden.

Die für das Jahr 2009 ermittelten Werte für die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen entsprechen in der Summe etwa den Werten der vorhergehenden Jahre, wenn auch Einzelwerte je nach den betrieblichen Bedingungen erheblich voneinander abweichen können; sie unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte; dies zeigt beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 2.1.5-1 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für radioaktive Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und ca. 10^{10} Bq für I-131.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Maß des Strahlenrisikos ist nicht die abgeleitete Aktivität, sondern die effektive Dosis (Anhang, Abschnitt 1). Die aus den Jahresaktivitätsableitungen unter Berücksichtigung von meteorologischen, ökologischen und biologischen Parametern berechneten Jahresdosen sind in Teil B - II - 1.3.1 angegeben.

Aktivitätsableitungen aus Anlagen mit beendetem Betrieb werden bis zum Ablauf der atomrechtlichen Genehmigung berichtet. Die deutlich kleineren Aktivitätsableitungswerte werden vom restlichen radioaktiven Inventar sowie von Rückbau- und Dekontaminationsarbeiten verursacht.

C-14 wird in Tabelle 2.1.5-1 als chemische Verbindung Kohlenstoffdioxid angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlenstoffdioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist. Die gesamte abgeleitete Aktivität von C-14 in allen chemischen Verbindungen über die Fortluft im Jahr 2009 beträgt an den in Tabelle 2.1.5-1 aufgeführten Standorten etwa $4{,}9 \cdot 10^{12}$ Bq.

Tabelle 2.1.5-1 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2009
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2009)

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	Radioaktive Edelgase	An Schwebstoffen gebundene Radionuklide[a)]	I-131	C-14 (als Kohlenstoffdioxid)	H-3
VAK Kahl [b)]	-	2,7 E01	-	-	-
KKR Rheinsberg [c)]	-	1,7 E05	-	-	-
KRB Gundremmingen A [d)]	-	3,7 E04	-	-	5,4 E08
KWL Lingen [d)]	-	nn	-	nn	nn
KWO Obrigheim [h)]	-	1,5 E06	-	1,8 E09	3,1 E10
KKS Stade [g)]	-	2,7 E04	-	2,2 E08	6,2 E09
KWW Würgassen [e)]	-	2,9 E06	-	1,9 E09	2,4 E09
KGR Greifswald [c)]	-	8,6 E06	-	-	-
KWB Biblis A	2,8 E11	1,1 E05	8,1 E04	3,2 E10	7,2 E11
KWB Biblis B	1,8 E11	3,8 E04	3,8 E05	6,2 E10	7,9 E11
GKN Neckarwestheim 1	4,1 E11	7,1 E04	nn	5,0 E09	1,3 E11
KKB Brunsbüttel	nn	4,2 E07	nn	3,4 E09	6,1 E09
KKI Isar 1	8,5 E11	nn	3,0 E07	3,3 E11	7,7 E10
KKU Unterweser	3,2 E12	6,0 E05	nn	2,7 E10	2,0 E11
KKP Philippsburg 1	5,1 E11	5,4 E06	1,7 E07	4,0 E11	3,8 E10

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	Radioaktive Edelgase	An Schwebstoffen gebundene Radionuklide[a)]	I-131	C-14 (als Kohlenstoffdioxid)	H-3
KKG Grafenrheinfeld	1,3 E12	1,1 E06	nn	1,4 E11	2,3 E11
KKK Krümmel	2,7 E10	3,3 E06	9,5 E05	2,5 E10	5,5 E09
KRB Gundremmingen B, C	2,2 E12	nn	1,7 E07	7,9 E11	4,8 E11
KWG Grohnde	1,5 E12	1,1 E06	9,9 E05	5,1 E10	2,0 E11
THTR Hamm-Uentrop [f)]	-	nn	-	nn	1,3 E08
KKP Philippsburg 2	9,1E11	7,8 E05	nn	2,9 E10	1,9 E10
KMK Mülheim-Kärlich [f)]	nn	nn	-	6,3 E08	nn
KBR Brokdorf	2,9 E11	nn	nn	1,5 E11	3,1 E11
KKI Isar 2	3,4 E11	nn	nn	8,3 E10	2,4 E11
KKE Emsland	1,6 E11	nn	nn	2,2 E11	9,4 E11
GKN Neckarwestheim 2	5,8 E11	6,9 E04	9,6 E04	2,3 E11	2,0 E11

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Sr-89, Sr-90 und Alphastrahler
b) Betrieb beendet 1985
c) Betrieb beendet 1990
d) Betrieb beendet 1977
e) Betrieb beendet 1994
f) Betrieb beendet 1988
g) Betrieb beendet 2003
h) Betrieb beendet 2005
\- Messung / Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle 2.1.5-2 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2009 ***(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2009)***

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Kahl/ Rheinsberg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgassen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Ar-41	-	-	-	-	-	-	3,6 E09	1,5 E10
Kr-85m	-	-	-	-	-	-	nn	1,3 E08
Kr-85	-	-	-	-	-	-	1,4 E11	1,4 E11
Kr-87	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-88	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-89	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-131m	-	-	-	-	-	-	1,1 E09	1,0 E09
Xe-133m	-	-	-	-	-	-	nn	1,2 E08
Xe-133	-	-	-	-	-	-	1,2 E11	1,8 E10
Xe-135m	-	-	-	-	-	-	nn	1,8 E09
Xe-135	-	-	-	-	-	-	1,3 E10	3,5 E09
Xe-137	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-138	-	-	-	-	-	-	nn	nn

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Neckarwestheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philippsburg 1	Grafenrheinfeld	Krümmel	Gundremmingen B, C
Ar-41	3,8 E11	nn	1,7 E09	6,5 E11	2,2 E09	2,2 E11	5,2 E07	3,1 E11
Kr-85m	nn	nn	1,1 E09	nn	8,1 E08	nn	2,6 E08	1,9 E09
Kr-85	7,0 E09	nn	1,6 E11	2,1 E11	3,1 E10	5,3 E07	1,1 E10	5,1 E11
Kr-87	nn	nn	1,6 E09	nn	1,4 E09	nn	nn	1,5 E09
Kr-88	nn	nn	1,1 E11	nn	1,5 E09	nn	nn	2,5 E09
Kr-89	nn	nn	nn	nn	1,3 E09	nn	nn	7,6 E10
Xe-131m	3,0 E09	nn	3,8 E09	1,2 E12	1,0 E10	nn	nn	5,4 E10
Xe-133m	nn	nn	2,0 E08	nn	9,8 E08	3,5 E08	4,0 E08	1,2 E09
Xe-133	6,0 E09	nn	1,2 E11	nn	5,6 E10	1,1 E12	1,0 E10	1,4 E11
Xe-135m	nn	nn	2,6 E11	nn	1,8 E11	nn	1,1 E09	2,4 E11
Xe-135	1,3 E10	nn	1,2 E11	1,1 E12	1,3 E11	1,3E10	4,1 E09	1,9 E11

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Neckar-westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unter-weser	Philippsburg 1	Grafen-rheinfeld	Krümmel	Gundrem-mingen B, C
Xe-137	nn	nn	3,9 E10	nn	3,0 E10	nn	nn	5,1 E11
Xe-138	nn	nn	3,4 E10	nn	6,3 E10	nn	nn	1,8 E11

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Ar-41	5,7 E10	-	2,2 E11	-	1,3 E11	7,1 E10	1,6 E11	9,7 E10
Kr-85m	nn	-	4,6 E08	-	nn	nn	nn	nn
Kr-85	4,0 E11	-	1,7 E11	-	nn	2,6 E11	nn	2,9 E11
Kr-87	nn	-	8,3 E08	-	nn	1,1 E08	nn	5,7 E07
Kr-88	nn	-	2,2 E09	-	nn	8,7 E07	nn	1,4 E08
Kr-89	nn	-	1,8 E09	-	nn	5,0 E08	nn	nn
Xe-131m	1,4 E10	-	4,9 E11	-	nn	8,8 E09	nn	1,0 E10
Xe-133m	1,5 E09	-	5,5 E09	-	nn	3,4 E08	nn	2,2 E09
Xe-133	1,0 E12	-	4,8 E09	-	1,6 E11	1,5 E09	nn	1,8 E11
Xe-135m	nn	-	2,2 E08	-	nn	1,1 E07	nn	9,9 E07
Xe-135	4,3 E10	-	1,0 E09	-	3,5 E09	9,7 E08	nn	4,9 E09
Xe-137	nn	-	1,8 E09	-	nn	8,8 E07	nn	1,1 E08
Xe-138	nn	-	1,8 E09	-	nn	8,0 E08	nn	nn

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle 2.1.5-3 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2009 (I-131: Tabelle 2.1.5-1)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2009 - I-131: Table 2.1.5-1)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Kahl	Rheins-berg	Gundrem-mingen A	Lingen	Obrig-heim	Würgas-sen	Stade	Greifs-wald	Biblis A
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	2,4 E04	nn	nn	1,3 E06	1,9 E06	1,0 E04	6,7 E06	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	1,2 E05	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sn-113	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	1,0 E05
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	2,7 E01	6,7 E04	3,7 E04	nn	1,6 E05	9,3 E05	1,7 E04	1,9 E06	8,4 E03
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Kahl	Rheins-berg	Gundrem-mingen A	Lingen	Obrig-heim	Würgas-sen	Stade	Greifs-wald	Biblis A
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	2,2 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239 +240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	9,5 E03	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Biblis B	Neckar-westheim 1	Brunsbüt-tel	Isar 1	Unter-weser	Philipps-burg 1	Grafen-rheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	1,2 E06	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	5,7 E06	nn	nn	2,3 E05	nn	5,1 E05	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	1,1 E04	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	4,8 E04	nn	4,3 E04	nn
Co-60	nn	7,1 E04	2,2 E07	nn	6,0 E05	1,4 E06	1,1 E06	2,6 E06	nn
Zn-65	nn	nn	1,2 E07	nn	nn	8,6 E05	nn	4,4 E04	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	5,8 E05	nn	5,0 E04	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	4,2 E04	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sn-113	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	1,9 E04	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	3,8 E04	nn	2,1 E06	nn	nn	2,2 E05	nn	5,9 E04	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	5,4 E05	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	3,1 E05	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+ 240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uen-trop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Cr-51	nn	nn	2,8 E05	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	9,9 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	4,8 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	1,1 E06	nn	1,6 E05	nn	nn	nn	nn	6,9 E04
Zn-65	nn	nn	1,3 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	1,7 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	4,4 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	2,0 E05	nn	nn	nn	nn	nn
Sn-113	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	4,2 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle 2.1.5-4 Aktivitätsableitung von radioaktiven Edelgasen, I-131 und an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden (ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in den Jahren 1999 bis 2009
(Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and radioactive particulates (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 1999 to 2009)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom-erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radio-nuklide	
1999	1,9 E13	2,5 E08	1,4 E08	19.374
2000	2,6 E13	2,2 E08	1,1 E08	19.371
2001	1,5 E13	2,8 E08	7,4 E07	19.552
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18.816

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom-erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radio-nuklide	
2003	1,4 E13	1,4 E08	6,2 E07	18.847*
2004	2,8 E13	2,5 E08	8,3 E07	19.071*
2005	2,8 E13	1,7 E08	1,5 E08	18.612*
2006	1,7 E13	2,3 E08	1,3 E08	19.105*
2007	2,2 E13	1,9 E08	8,7 E07	16.043*
2008	1,6 E13	5,7 E07	1,1 E08	21.497*
2009	1,3 E13	6,6 E07	6,8 E07	21.507*

* Quelle: atw, International Journal for Nuclear Power, Betriebsergebnisse, Berlin

Tabelle 2.1.5-5 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2009
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2009)

Forschungszentrum	Aktivitätsableitung in Bq					
	Radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide[a)]	I-131	I-129	C-14	H-3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,0 E12	2,7 E07 [b)]	7,2 E05	4,4 E05	1,6 E10	1,5 E12
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	5,4 E09	1,3 E07	5,8 E06	-	8,7 E10	4,3 E12
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	1,8 E10	1,3 E05	nn	nn	1,0 E09	7,8 E10
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	5,8 E11	2,5 E04	1,8 E05	-	5,9 E08	1,0 E11
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	4,6 E11	1,5 E04	7,0 E05	-	2,7 E09	7,2 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	4,6 E06	1,4 E09
Garching, FRM II	2,4 E11	nn	4,8 E04	-	9,6 E09	3,9 E11
Forschungsreaktor Mainz	1,5 E11	nn	nn	-	-	3,2 E06

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler

b) davon Alphastrahler: 3,6 E05 Bq

\- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Die Jahresaktivitätsableitungen der Forschungsreaktoren FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin enthalten (Tabelle 2.1.5-5).

Tabelle 2.1.5-6 Aktivitätsableitung alphastrahlender radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2009
(Discharges of alpha emitting radioactive substances with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2009)

Betrieb	Aktivitätsableitung in Bq	
	2009	2008
ANF GmbH (Lingen)	< 1,5 E04	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	3,0 E04	2,8 E04

< Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze

Tabelle 2.1.5-7 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben final disposal facility)

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2009	2008
H-3	1,3 E10	1,3 E10
C-14	6,6 E08	6,9 E08
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	8,5 E05	1,7 E06
Radon-Folgeprodukte	6,0E 09	6,0 E09

Tabelle 2.1.5-8 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse nach altem Bilanzierungsverfahren
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine - old procedure)

Nuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2009	2008
H-3	3,5 E10	3,7 E10
C-14	8,6 E08	1,0 E09
Pb-210	7,9 E05	1,0 E06
Rn-222 (Gas)	1,0 E11	9,4 E10
Radon-Folgeprodukte	*	4,7 E10

* Radon-Folgeprodukte sind nicht mehr explizit angegeben

Die angegebenen Messwerte für 2008 beruhen auf Betreiberangaben, da die Schachtanlage im Jahr 2008 noch keine kerntechnische Anlage gemäß AtG war. Die Werte wurden vom BfS stichprobenartig überprüft

Tabelle 2.1.5-9 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse nach neuem Bilanzierungsverfahren
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine – new procedure)

Nuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2009	2008
H-3	3,5 E10	3,7 E10
C-14	8,6 E08	1,0 E09
Rn-222 (Gas)	1,0 E11	9,4 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	4,3 E05	4,7 E10 *

* Einschließlich kurzlebiger Radon-Folgeprodukte

Die angegebenen Messwerte für 2008 zur beruhen auf Betreiberangaben, da die Schachtanlage im Jahr 2008 noch keine kerntechnische Anlage gemäß AtG war. Die Werte wurden vom BfS stichprobenartig überprüft.

2.2 Meerwasser und Binnengewässer
(Seawater and inland water)

2.2.1 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment
(Seawater, suspended matter, sediment)

In diesem Kapitel wird der aktuelle Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich je eine Überwachungsfahrt in Nord- und Ostsee mit eigenen und gecharterten ausländischen Forschungsschiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Damit ist sowohl eine Beschreibung der räumlichen Verteilung als auch des zeitlichen Trends der Kontamination möglich. Grundsätzlich werden die Radionuklide Cs-137 bzw. Cs-134, Sr-90, Pu-(239+240), Pu-238, Am-241 und Tritium untersucht.

Meerwasser in der Nordsee

Die Probennahme zur Überwachung der Nordsee erfolgte 2009 auf einer Fahrt im August. Zusätzlich wurden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

Die Zeitreihen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an den beiden Stationen seit 1961 bzw. 1980 (Abbildung 2.2.1-1 und 2.2.1-2) lassen seit einigen Jahren nur noch sehr niedrige Werte erkennen. Der Grund dafür ist, dass aus den Wiederaufbereitungsanlagen Sellafield und La Hague nur noch sehr geringe Einleitungen dieser beiden Radionuklide zu verzeichnen sind. Zeitverzögert infolge des Reststroms innerhalb der europäischen Schelfmeere liegen die Konzentrationen nur noch sehr gering über den Kontaminationswerten des Oberflächenwassers des Atlantiks. Diese sind im Wesentlichen durch die Reste des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests der sechziger Jahre gekennzeichnet. Ein Eintrag von Cs-137 aus der Elbe ist nicht zu festzustellen, wie auch in Abbildung 2.2.1-3 zu erkennen ist. Der Fallout von Tschernobyl mit seinem charakteristischen Nuklidverhältnis Cs-134/Cs-137 war in der deutschen Bucht zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr zu messen. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee ebenfalls nicht mehr nachweisbar (NWG ca. 0,2 Bq/m^3).

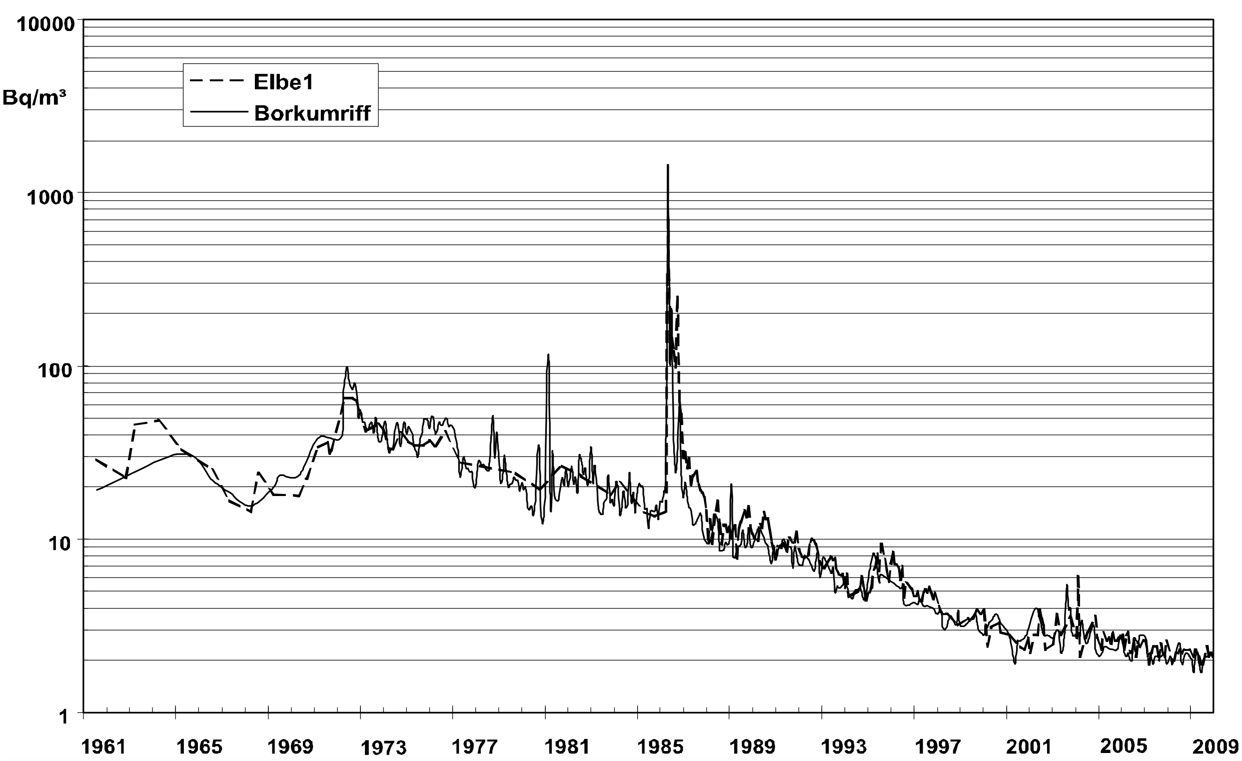


Abbildung 2.2.1-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961)

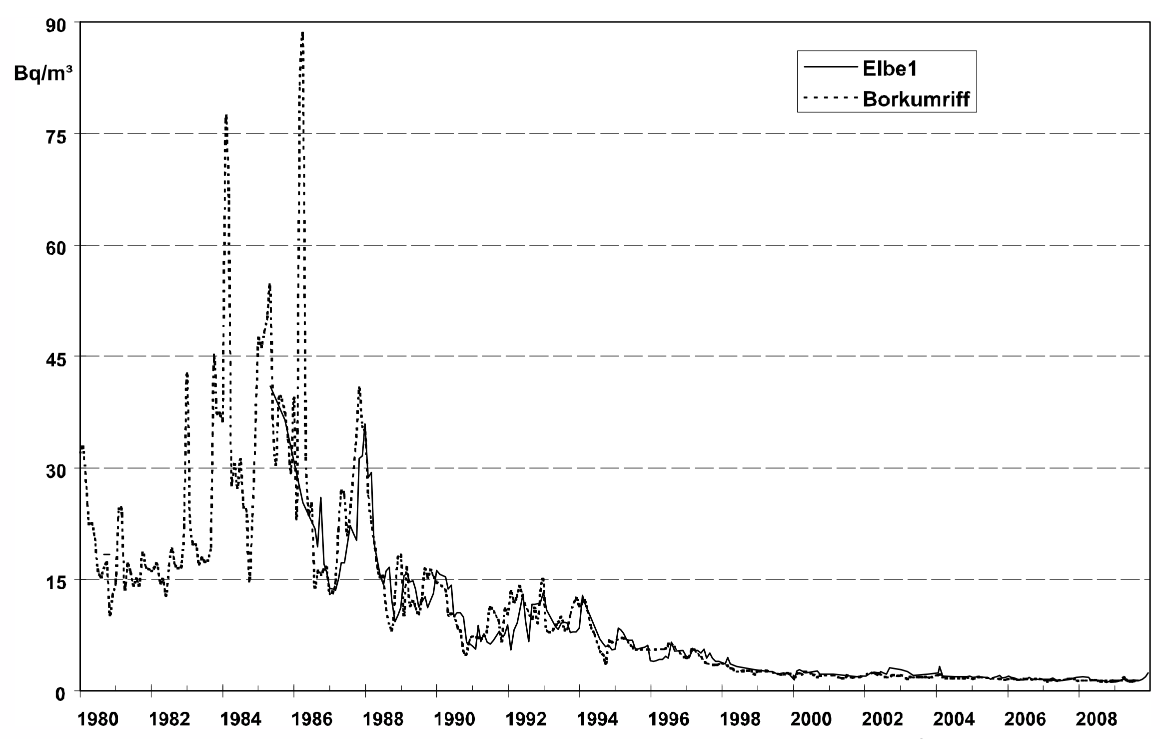


Abbildung 2.2.1-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980

(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1980)

In der Abbildung 2.2.1-3 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche der Nordsee vom Englischen Kanal bis auf Höhe der Shetlandinseln im August 2009 dargestellt. Die Konzentrationen überstreichen einen Bereich von 1,4 Bq/m^3 im Englischen Kanal bis zu 5,9 Bq/m^3 im Skagerrak. Die geringfügig höheren Konzentrationen an der Südküste Norwegens und an der englischen Ostküste sind auf den Eintrag aus der höher belasteten Ostsee bzw. auf Resuspension aus der Irischen See zurückzuführen. Im Vergleich zu früheren Jahren sind die Konzentrationen von Cs-137 sehr niedrig. Bemerkenswert ist, dass die Einleitungen von Cs-137 der WAA La Hague im Vergleich zu früheren Jahren nahezu vollständig gestoppt sind. Ein Eintrag aus der Elbe ist nicht zu erkennen.

Dies gilt nicht für Sr-90, wie in Abbildung 2.2.1-4 gut zu erkennen ist. Hier wird der höchste Wert mit 3,6 Bq/m^3 in der Elbe gefunden. Die geringen Einträge an Cs-137 aus der Elbe sind darauf zurückzuführen, dass Cs-137 im Vergleich zu Sr-90 an Tonmineralen der Böden stärker adsorbiert wird und deshalb über die Flüsse geringer eingetragen wird als Sr-90. Die Quelle des Sr-90 ist der Kernwaffenfallout. Auch wenn der Sr-90-Datensatz zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses noch nicht vollständig ist, läßt sich auch bei diesem Nuklid feststellen, das die Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen nahezu nicht mehr feststellbar sind.

Anders sieht die Verteilung von H-3 aus, wie sie in Abbildung 2.2.1-5 dargestellt ist. Die Einleitungen der Anlage La Hague sind deutlich zu erkennen und markieren den sogenannten Europäischen Küstenstrom bis hin zur Norwegischen Küste. Da sowohl die Einleitungen der WAA Sellafield dieses Nuklids (ungefähr ein Zehntel der Einleitungen La Hagues) als auch der natürliche Hintergrund durch die Tritiumproduktion, verursacht durch die kosmische Strahlung in der Atmosphäre, vergleichsweise gering sind, ist dieses Nuklid in den letzten Jahren ein hervorragender Marker, um die von der Anlage La Hague kontaminierten Wassermassen zu charakterisieren. Nach den vorliegenden Erkenntnissen ist die Radiotoxizität von Tritium sehr gering. Die räumliche Verteilung entspricht im Wesentlichen derjenigen, die auch zuletzt im Jahr 2005 festgestellt wurde.

In den Abbildungen 2.2.1-6 bis 2.2.1-8 sind die Verteilungen von Transuranen in der Nordsee im Jahr 2009 dargestellt. Die relativ höchsten Aktivitätskonzentrationen finden sich an der schottischen Ostküste mit bis zu 32 mBq/m³ für Pu-(239+240) und im Englischen Kanal mit bis zu 12 mBq/m³ für Am-241. Dies entspricht auch in diesem Fall den Konzentrationsverteilungen, wie sie sich zuletzt im Jahr 2005 darstellten. Das Pu-238/Pu-(239+240)-Aktivitätsverhältnis der Anlage Sellafield war für viele Jahre sehr konstant bei 0,15 - 0,20 (siehe auch Abb. 2.2.1-16). Schon im Jahr 2005 war eine signifikante Änderung des Verhältnisses festzustellen. Gefunden wurden damals Werte vom 0,3 bis 0,4 an der Englischen Ostküste. Im Jahr 2009 wurden nun erstmals in der Geschichte der Radioaktivitätsüberwachung durch das BSH Verhältnisse um 0,8 in der zentralen Nordsee gemessen (siehe Abb. 2.2.1-7). Die Herkunft des Plutoniums mit diesem Aktivitätsverhältnis ist unklar. Historisch gab es vergleichbare Messwerte nur sehr lokal begrenzt in der Nähe der Anlage Dounreay an der Nordküste Schottlands. Dabei ist festzuhalten, dass es sich wie bei allen hier dargestellten Transuranmesswerten um extrem geringe Aktivitätskonzentrationen handelt, von denen keine Gefahr für Mensch oder Umwelt ausgeht. Zu ergänzen ist, dass die in den letzten Jahren erhöhten Transuranwerte in der Elbe deutlich zurückgegangen sind.

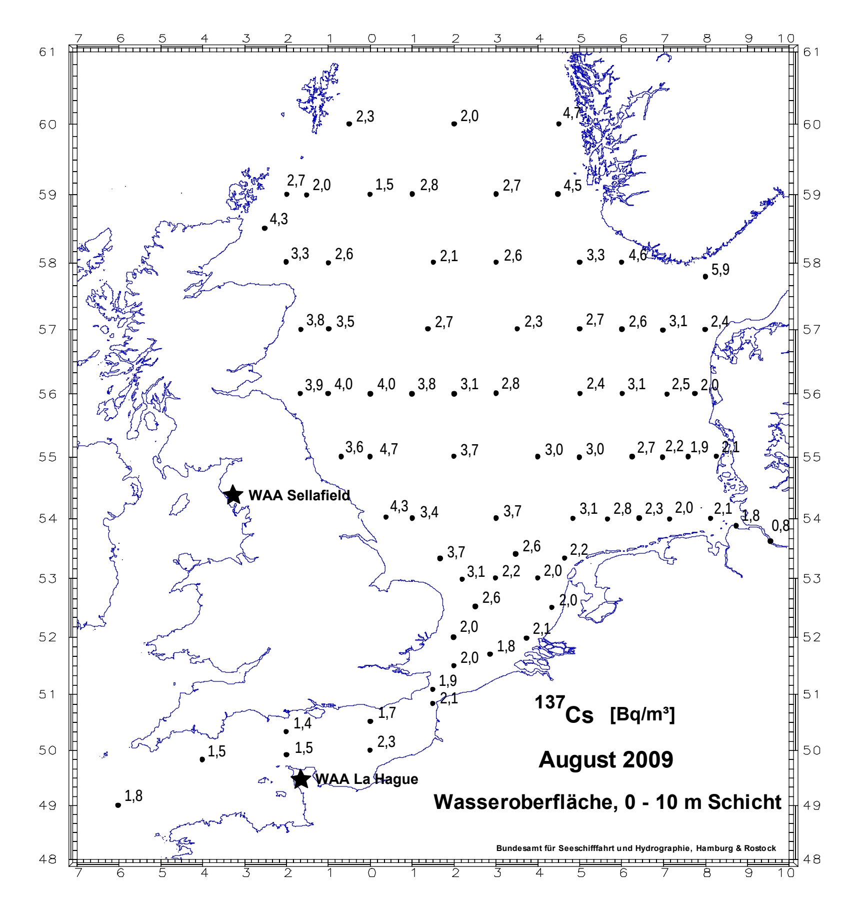


Abbildung 2.2.1-3

Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) im Wasser der Nordsee im August 2009
(Distribution of Cs-137 (Bq/m^3) in seawater of the North Sea in August 2009)

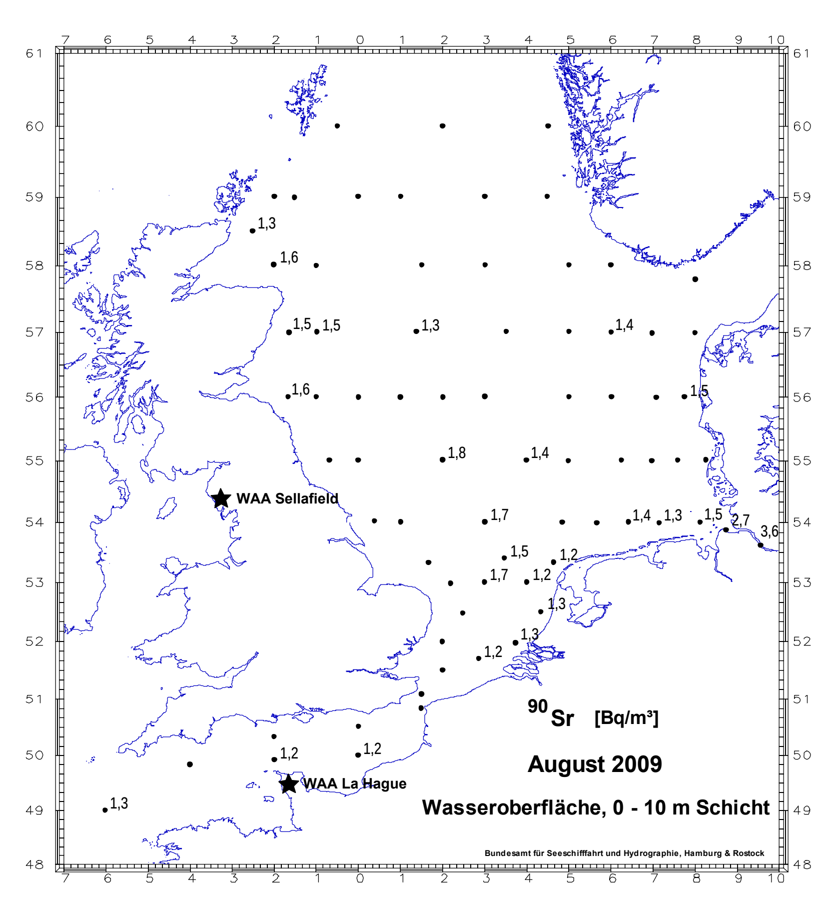


Abbildung 2.2.1-4

Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) im Wasser der Nordsee im August 2009
(Distribution of Sr-90 (Bq/m^3) in seawater of the North Sea in August 2009)

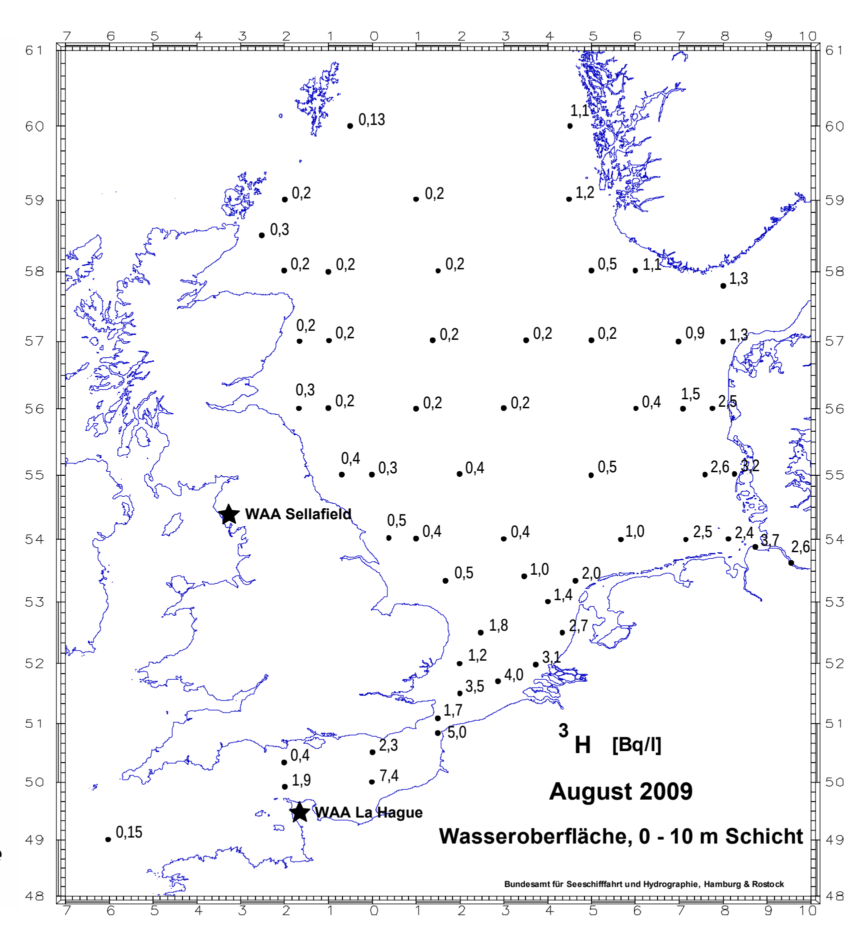


Abbildung 2.2.1-5

Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (Bq/l) im Wasser der Nordsee im August 2009

(Distribution of H-3 (Bq/l) in seawater of the North Sea in August 2009)

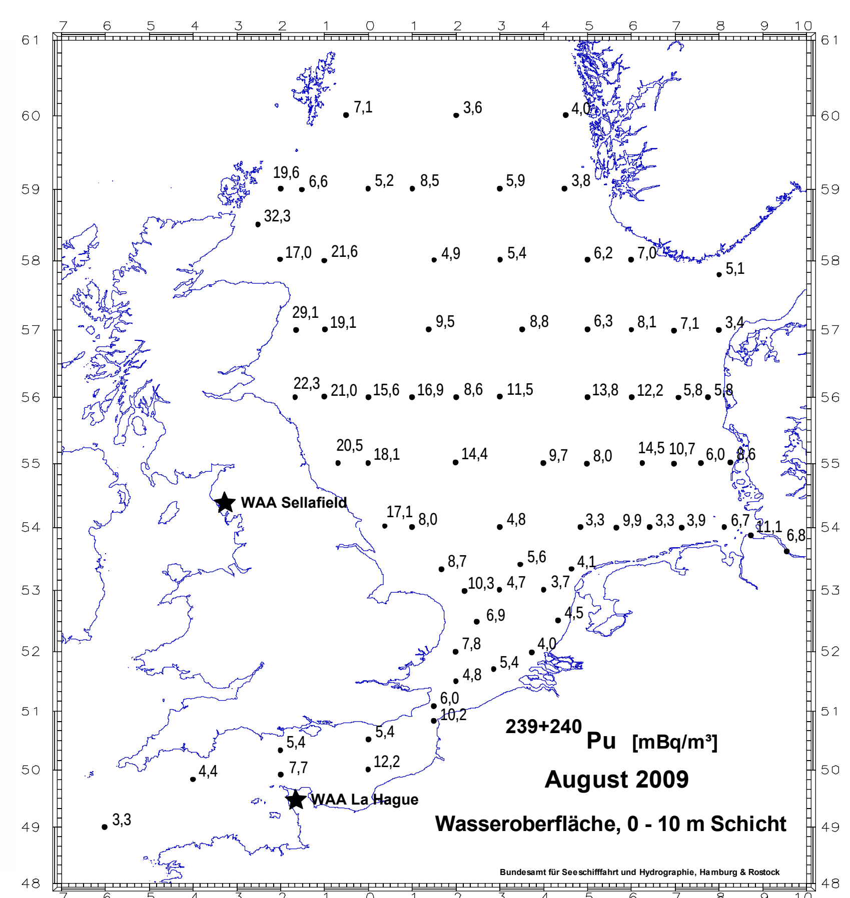


Abbildung 2.2.1-6

Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) (mBq/m^3) im Wasser der Nordsee im August 2009

(Distribution of the activity concentration of Pu-(239+240) (mBq/m^3) in seawater of the North Sea in August 2009)

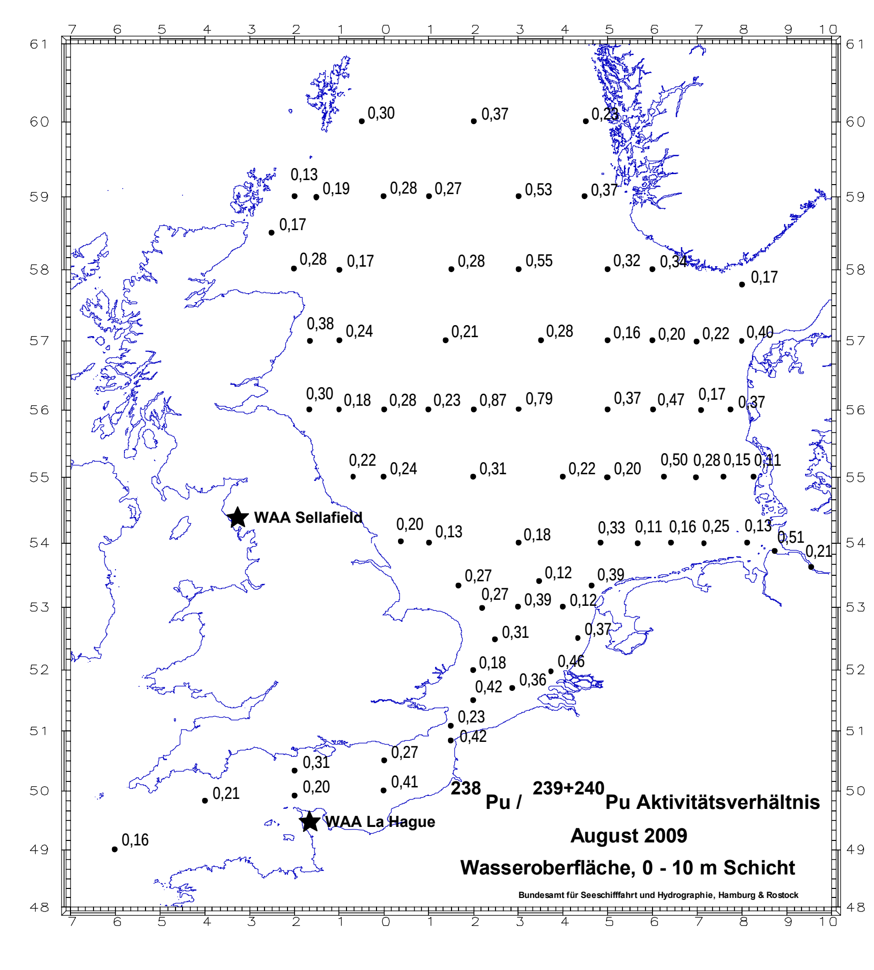


Abbildung 2.2.1-7

Die Verteilung des Aktivitätsverhältnisses Pu-238 / Pu-(239+240) im Wasser der Nordsee im August 2009

(Distribution of the activity ratio of Pu-238/ Pu-(239+240) in seawater of the North Sea in August 2009)

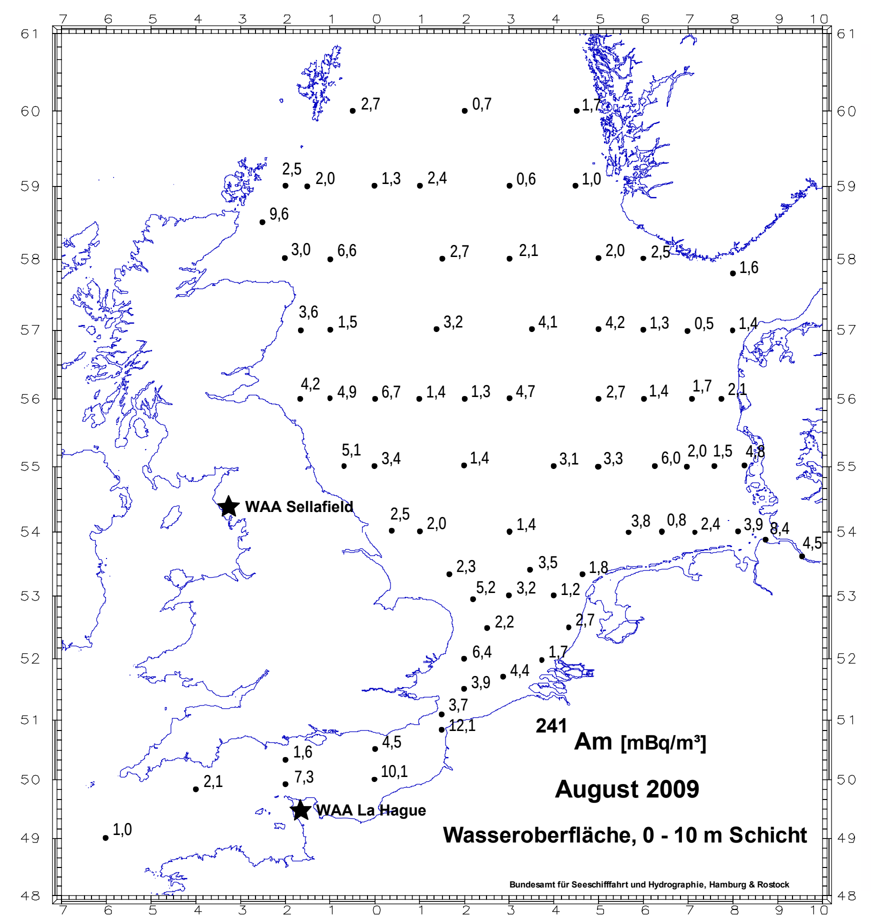


Abbildung 2.2.1-8

Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Am-241 (mBq/m^3) im Wasser der Nordsee im August 2009

(Distribution of the activity concentration of Am-241 (mBq/m^3) in seawater of the North Sea in August 2009)

Meerwasser der Ostsee

Die Ostsee erfuhr nach dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout. Der Schwerpunkt des Eintrages lag in der südlichen Bottensee, dem Finnischen Meerbusen und - in geringerem Maße - in der Lübecker Bucht. Auf Grund des nur geringen Wasseraustausches mit der Nordsee dauert es Jahrzehnte bis Schadstoffe aus der Ostsee entfernt werden. Dies ist seit über 20 Jahren auch für das Cs-137 aus dem Tschernobylunfall zu beobachten. Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Welt. Insgesamt besteht ein Süßwasserüberschuss, der mit dem salzarmen Oberflächenwasser über die Beltsee in die Nordsee transportiert wird. In der Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Nordseewassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids Cs-137 wieder. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden wir durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

Abbildung 2.2.1-9 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee, praktisch gleichbleibend mit dem Vorjahr, zwischen etwa 24 Bq/m^3 im westlichen und 38 Bq/m^3 im östlichen Teil des im Juni 2009 überwachten Gebietes (Abbildung 2.2.1-10). Die Konzentrationen nehmen in west-östlicher Richtung nach wie vor leicht zu - in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallout. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich in den letzten Jahren insgesamt deutlich verringert hat, liegt sie immer noch um mindestens den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der zentralen Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 nachweisen. Im Gegensatz zu den Vorjahren zeigen die Proben aus der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee die größten Unterschiede in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser auf.

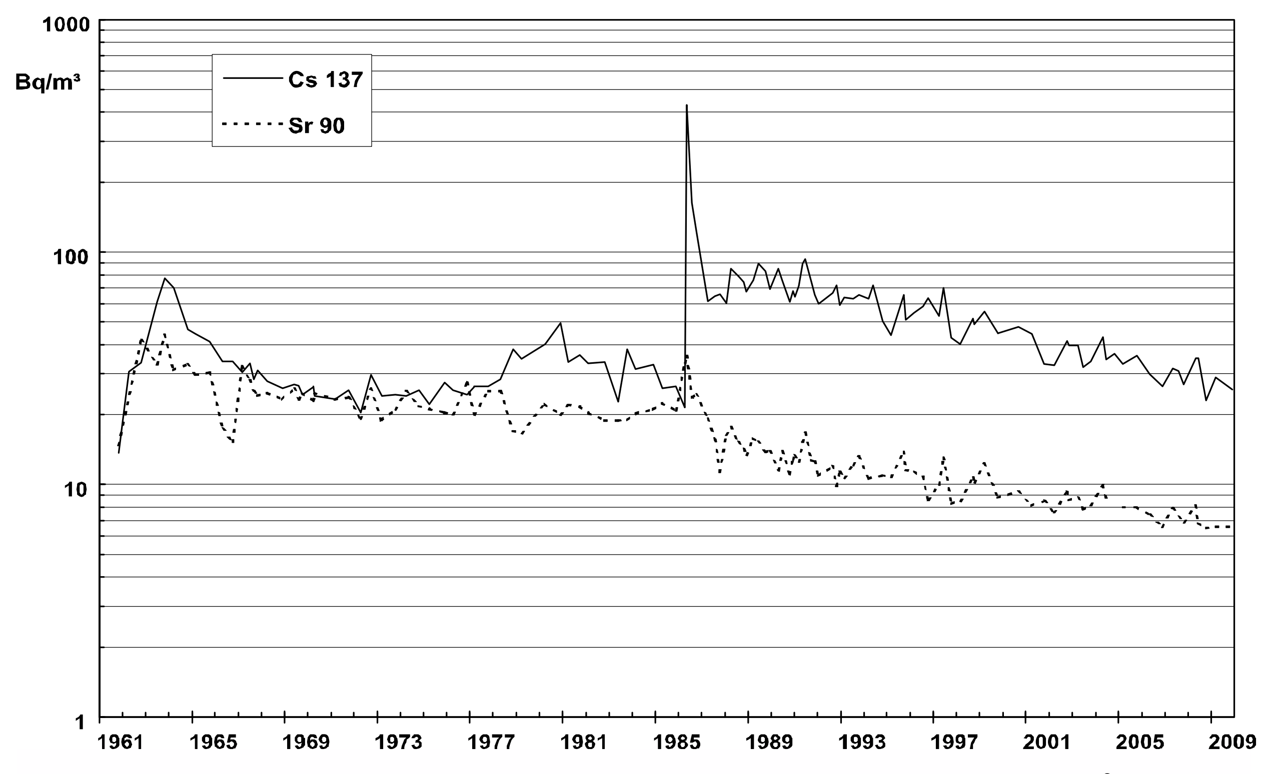


Abbildung 2.2.1-9 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Schleimündung“ (54°40‘N, 010°05‘O) seit 1961

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Schleimündung“ (54°40‘N, 010°05‘E) since 1961)

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch Tschernobyl eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmen Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen. Um diesen Einstrom besser zu charakterisieren, wurden sieben sogenannte Indikatorstationen entlang des Haupteinstrombereiches ausgewählt. Die Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzention, jeweils getrennt für Oberflächen- und Bodenwasser, wurden in Abbildung 2.2.1-11 dargestellt. Neben dem generellen Trend zu geringeren Konzentrationen kann man sowohl die Differenzen zwischen Oberflächen- und Bodenwasser als die Homogenität über die gewählte Einstromgrenze als Indikator für die unterschiedlichen Einstromsituationen heranziehen. In den letzten Jahren ist eine stetige Einstromsituation im Bodenwasser mit ausgeprägten Differenzen zwischen Oberfläche und Bodenwasser im Cs-137-Gehalt festzustellen, die von Jahren mit geringen Differenzen (2004, 2007, 2009) oder großer Inhomogenität (1999) unterbrochen wurde. Letztere werden als Jahre mit geringem oder unvollständigem Einstrom von Nordseewasser interpretiert.

Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen.

Die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) im Oberflächenwasser auf einigen ausgewählten Stationen im Untersuchungsgebiet im Juni 2009 ist in Abbildung 2.2.1-12 dargestellt. Die Verteilung von Sr-90 ist sehr homogen, weil sie vom globalen Fallout und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt wird. Gleiches gilt für die in Abbildung 2.2.1-13 dargestellte Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3.

Es ist festzuhalten, dass während der über 20-jährigen Laufzeit der internationalen Radioaktivitäts-Überwachungsprogramme (HELCOM-MORS) keinerlei Messwerte im Wasser der Ostsee gefunden wurden, die auf Einleitungen der nuklearen Anlagen der Ostseeanrainerstaaten zurückzuführen wären.

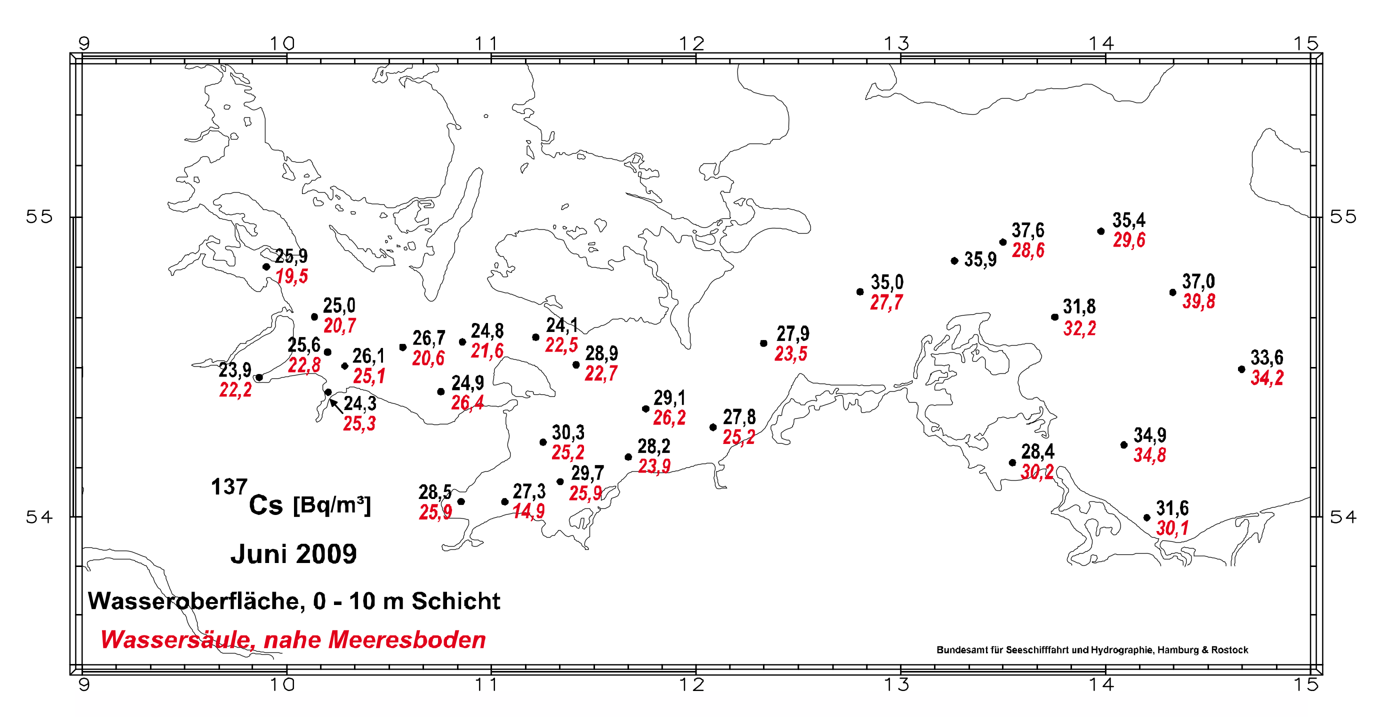


Abbildung 2.2.1-10 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2009

(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2009)

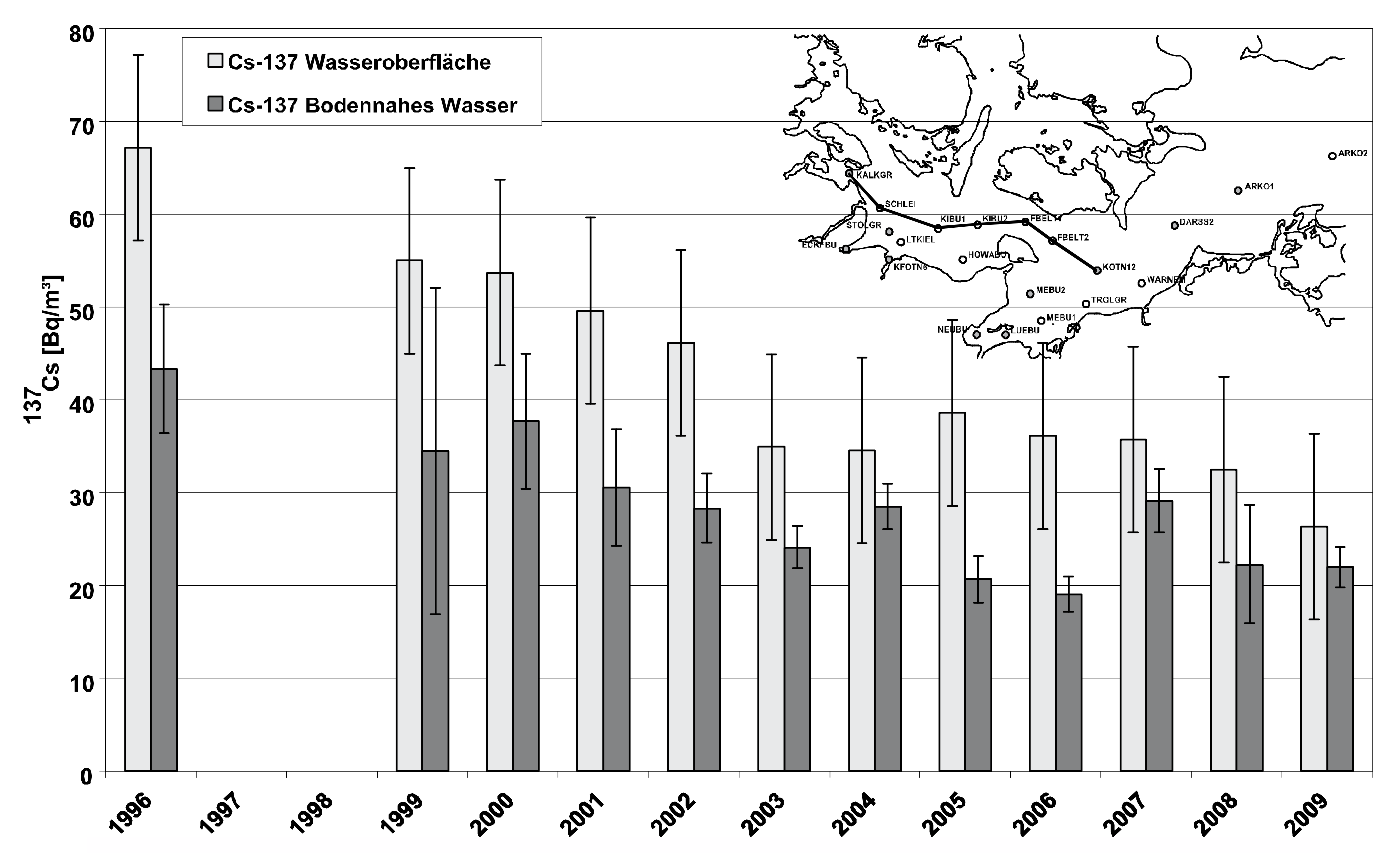


Abbildung 2.2.1-11 Zeitreihe der Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentrationen an 7 Indikatorstationen in der westlichen Ostsee

(Timeseries of mean values of Cs-137-activity concentrations from 7 indicator stations in the western Baltic Sea)

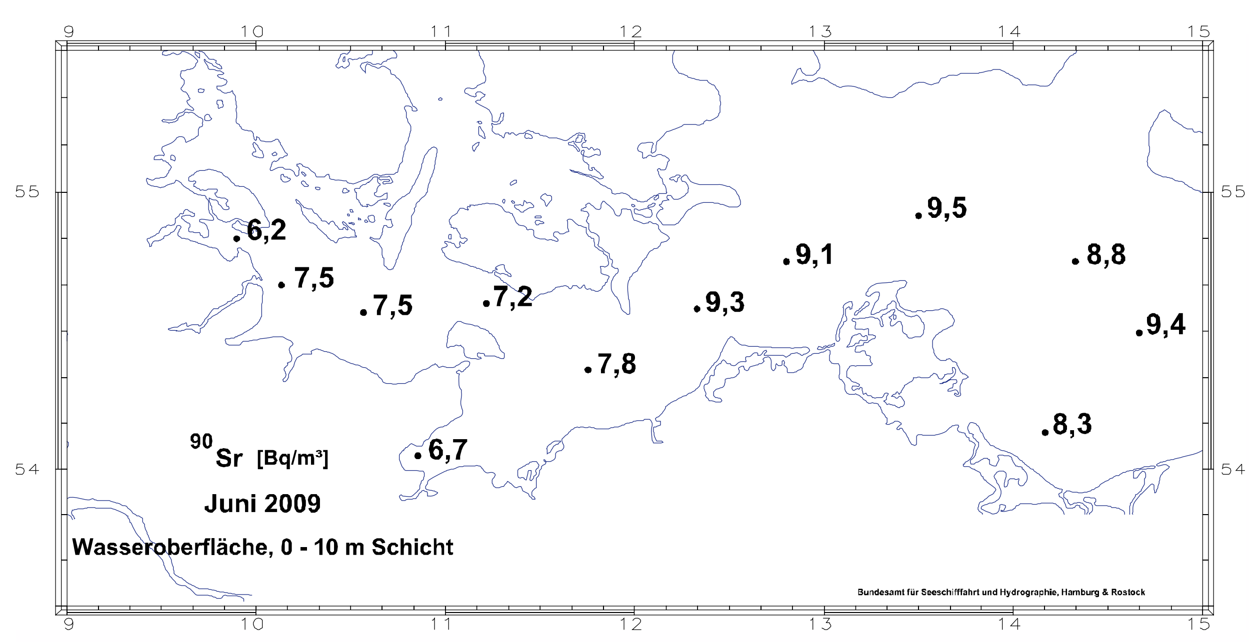


Abbildung 2.2.1-12 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2009

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m^3) in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2009)

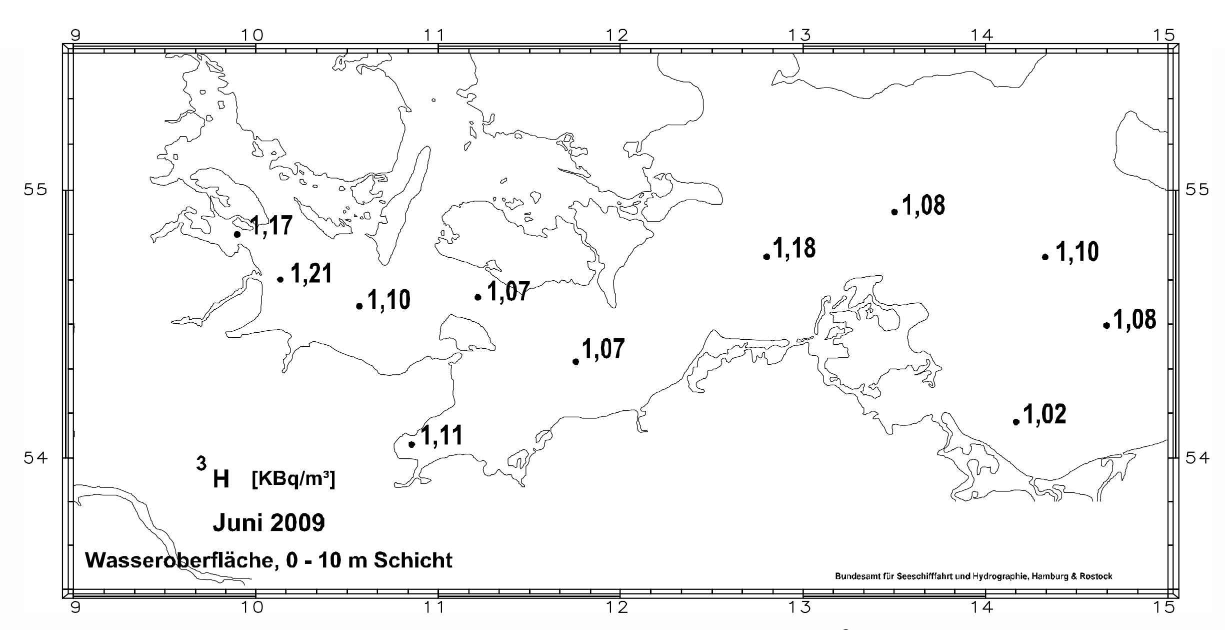


Abbildung 2.2.1-13 Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m^3) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2009
(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (kBq/m^3) in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2009)

Sedimente

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Die höchste Konzentration findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in Tiefen von 2 bis 8 cm. In den Abbildungen 2.2.1-14 und 2.2.1-15 ist das Inventar in kBq/m^2 einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 16 cm Tiefe in den Jahren 2008 und 2009 dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu 5,9 kBq/m^2 (Eckernförder Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten und dem als Senke fungierenden Arkonabecken zu finden. Es zeigt sich, dass auch über 20 Jahre nach dem Tchernobyl-Unfall noch beachtliche Depositionen gefunden werden können. Dabei wurden spezifische Aktivitäten von bis zu 130 Bq/kg Trockenmasse festgestellt.

Die Inventare hängen stark von der Feinkörnigkeit der Sedimente ab. Dabei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare an Cs-137 wesentlich geringer als z. B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen, jedoch höher als in fast allen Gebieten des Weltmeeres mit Ausnahme der Irischen See.

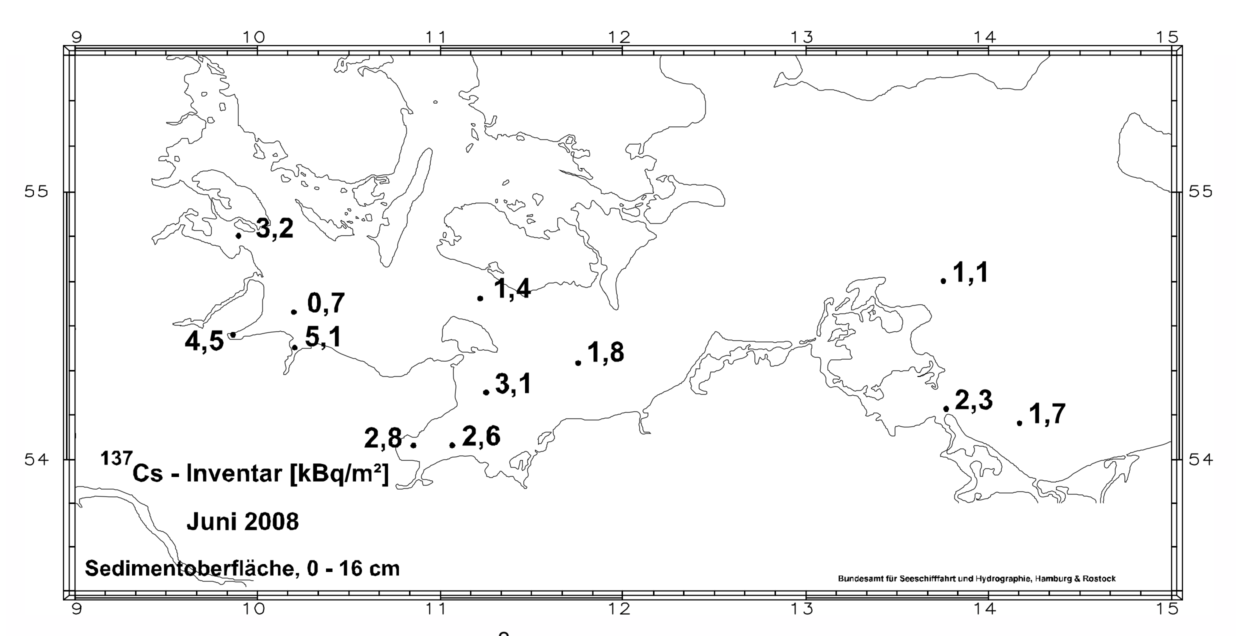


Abbildung 2.2.1-14 Cs-137 Inventar (kBq/m^2) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2008. Das Inventar wird bis 16 cm Sedimenttiefe erfasst
(Cs-137 Inventory (kBq/m^2) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2008. The inventory is calculated down to 16 cm depth)

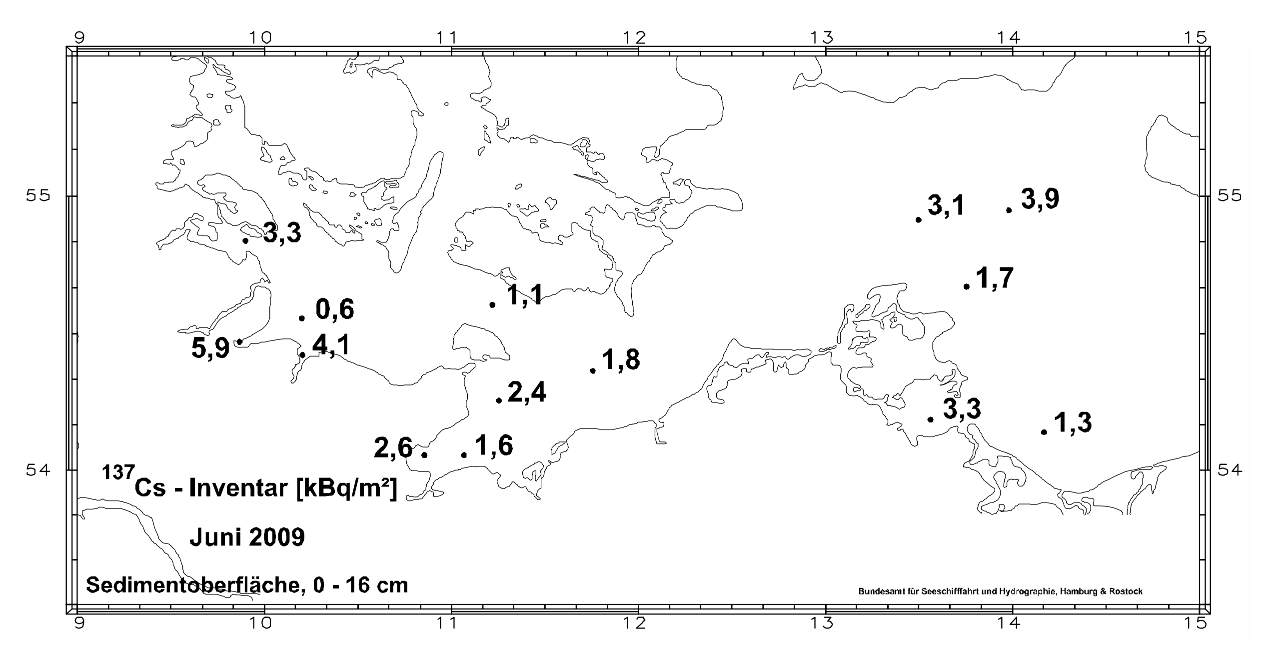


Abbildung 2.2.1-15 Cs-137 Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2009. Das Inventar wird bis 16 cm Sedimenttiefe erfasst

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2009. The inventory is calculated down to 16 cm depth)

Durch die Bestimmung des Aktivitätsverhältnisses von Pu-238 und Pu-(239+240) kann man Rückschlüsse auf die Quellen der Kontamination ziehen. Der globale Fallout weist ein Verhältnis von etwa 0,02 bis 0,06 auf, Pu-Isotope aus den Wiederaufbereitungsanlagen liegen mit Verhältnissen von 0,15 bis 0,2 (Sellafield) bzw 0,4 bis über 0,5 (La Hague) deutlich darüber. Die gefundenen Verhältnisse im Sedimentprofil der Station WB5 (siehe Abbildung 2.2.1-16) in der äußeren Deutschen Bucht zeigen durchgängig ein klares Sellafield-Signal, während auf der Station KS11 südöstlich von Helgoland mit Aktivitätsverhältnissen von 0,04 bis 0,08 nahezu reine Fallout-Verhältnisse angetroffen werden.

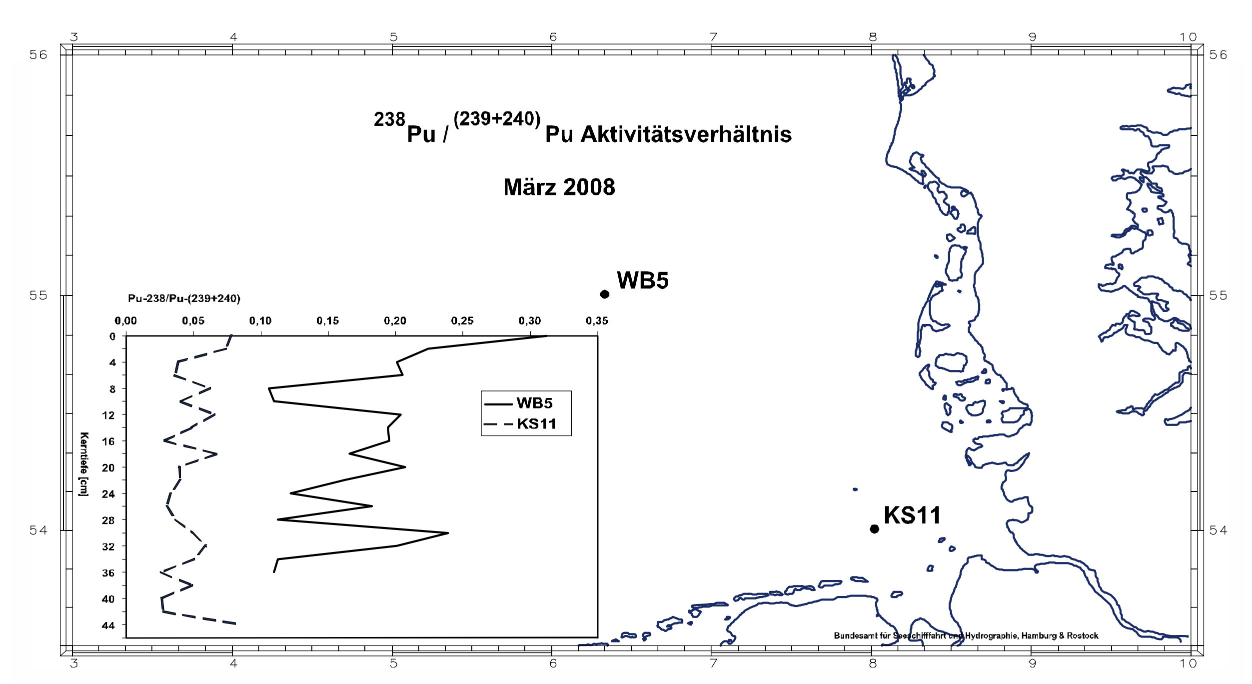


Abbildung 2.2.1-16 Profil des Verhältnisses der Pu-238- und Pu-(239+240)-Aktivitäten in Sedimentkernen aus der Deutschen Bucht im März 2008

(Profiles of activity ratios of Pu-238- and Pu(239+240) in sediment cores from the German Bight in March 2008)

2.2.2 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer
(Surface water, suspended matter, and sediment in inland water)

In diesem Kapitel wird über die Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für das Jahr 2009 berichtet.

Die gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern ermittelten Ergebnisse von der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind im nachfolgenden Kapitel zusammengefasst und bewertet.

Eine Übersicht über die insgesamt erhaltenen Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG bzw. REI gibt Tabelle 2.2.2-1.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr die Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 162 Gewässern - davon 85 Fließgewässer und 77 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt ca. 17.690 Messwerten ausgewertet. Für repräsentative Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<" gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auftragung „nn" angegeben. Tabelle 2.2.2-2 enthält die Auswertungen für Fließgewässer und Tabelle 2.2.2-3 die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte ausgewählter Entnahmestellen in den Abbildungen 2.2.2-1 bis 2.2.2-8 beispielhaft aufgezeigt.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2009 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasserproben wiesen H-3-Konzentrationen im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die H-3 aus kerntechnischen Anlagen eingeleitet wurde, betrugen die Jahresmittelwerte bis ca. 24 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Nachweisgrenzenvorgaben des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren - von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. I-131 trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,2 Bq/l (Schwarzbach, Hessen). Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für U-234, U-235 und U-238 durchweg mittlere Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional zwischen 0,0001 und 0,09 Bq/l. Pu-(239+240) wurde im Mittel mit 0,00001 Bq/l an einer Entnahmestelle bestimmt (Elbe, HH-Bunthaus). Andere Transurane wurden bei den Messungen nicht nachgewiesen.

In **Schwebstoffproben** lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 100 Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: der maximale Jahresmittelwert betrug 240 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 konnten in Mosel, Neckar und Weser nachgewiesen werden, wobei die Werte im Mittel unter 5 Bq/kg TM lagen und damit unter der geforderten Nachweisgrenze des RMP. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 41 Bq/kg TM (Ems) gemessen.

In **Sedimentproben** betrugen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 meist unter 100 Bq/kg TM. In einzelnen Seen traten auch hier noch höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: der maximale Jahresmittelwert ergab sich zu 247 Bq/kg TM (Wittensee, Schleswig-Holstein). Co-60 - in Octum, Jadebusen, Neckar und Rhein gemessen - lag mit Werten bis zu 0,4 Bq/kg TM deutlich unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Aus radiologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer in 2009 mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Die Schwankungen der mittleren Aktivitätskonzentrationen der langlebigen künstlichen Radionuklide können - vom radioaktiven Zerfall abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden, die zu sehr inhomogenen und instationären Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen können. In Sedimenten variieren die Radionuklidgehalte – wie bei anderen Schadstoffen auch - mit der Korngrößenverteilung (siehe auch Teil A). Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und von nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet bzw. eingetragen werden.

Strahlenexposition

Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer anthropogen eingetragenen Radionuklide können über die für den aquatischen Bereich sensitiven Expositionspfade „**Trinkwasser**" und „**Aufenthalt auf Spülfeldern**" eine zusätzliche interne bzw. externe Strahlenexposition von Personen bewirken.

Nimmt man eine Kontamination von **Oberflächenwasser** mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem „**Trinkwasser**"-Pfad zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<= 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 µSv/a. Allein der von dem

natürlichen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 bzw. 4,2 µSv/a deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2009 in **Sedimenten** noch deutlich nachweisbar. Würde ein Sediment mit einem Cs-137-Gehalt von 100 Bq/kg TM bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad „**Aufenthalt auf Spülfeldern**" für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11 µSv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Th-nat und U-nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 28 µSv/a wesentlich höher.

Tabelle 2.2.2-1 Übersicht über die für 2009 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI mit den jeweiligen maximalen gemessenen Werten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten
(Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2009, in accordance with the StrVG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Kompartiment	Nuklid	Anzahl der Werte	Maximalwert	Gewässer	Ort / KT-Anlage	Datum / Zeitraum	Überwachungsprogramm
Oberflächenwasser (Bq/l)	Gα-Aktivität	212	0,62	Ems	Terborg, km 24,64	November	StrVG
	Gβ/Rβ-Aktivität	63	0,146	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	Januar	REI
	H-3	1.730	5.000	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
	Co-60	1.726	0,0125	Donau	KRB Gundremmingen, Auslaufbauwerk	Juni	REI
	Sr-90	330	0,06	Emmersee	Schieder-Schwalenberg	November	StrVG
	I-131	639	0,098	Weschnitz	KWB Biblis	21.10.	REI
	Cs-137	1.648	0,074	Arendsee	Arendsee	10.8.	StrVG
	Pu-(239+240)	125	0,000074	Kalter Bach	FS Rossendorf	III. Quartal	REI
	Sonstige	ca. 5.580					
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	67	2,44	Mosel	Perl, km 241,96	September	StrVG
	Co-60	522	18,4	Mosel	Perl, km 241,96	April	StrVG
	I-131	249	41,4	Ems	Greven, km 217,20	18.5.	StrVG
	Cs-137	522	330	Steinhuder Meer	Wunstorf	III. Quartal	StrVG
	Sonstige	ca. 2.750					
Sediment (Bq/kg TM)	Gα-Aktivität	4	686	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	IV. Quartal	REI
	Gβ-Aktivität	4	2.630	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	III. Quartal	REI
	Co-58	87	1,58	Rhein	KKP Philippsburg, Auslaufbauwerk	III. Quartal	REI
	Co-60	1.097	59	Weser	KKW Würgassen, Auslaufbauwerk	8.10.	REI
	I-131	518	203	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	I. Quartal	REI
	Cs-137	1.097	447	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	13.8.	REI
	Am-241	18	31,6	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	13.8.	REI
	Sonstige	ca. 5.470					

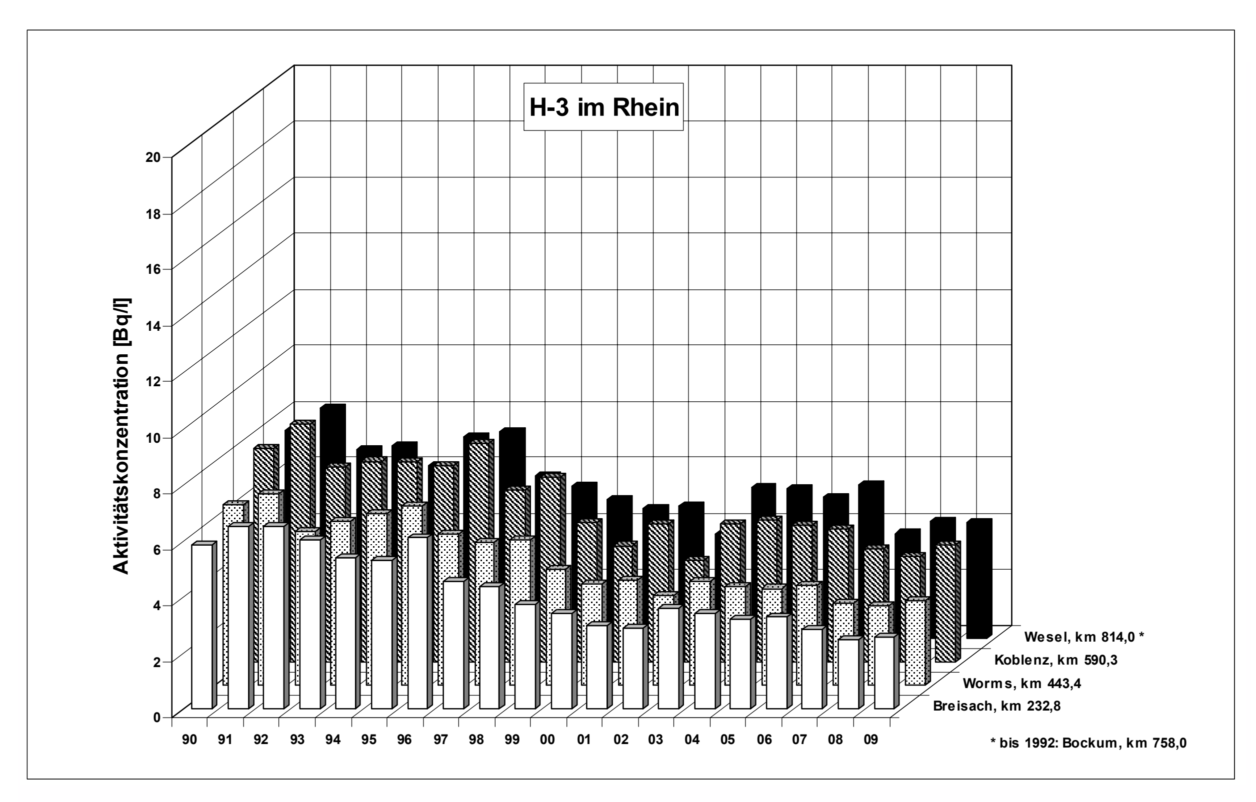


Abbildung 2.2.2-1 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)

(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

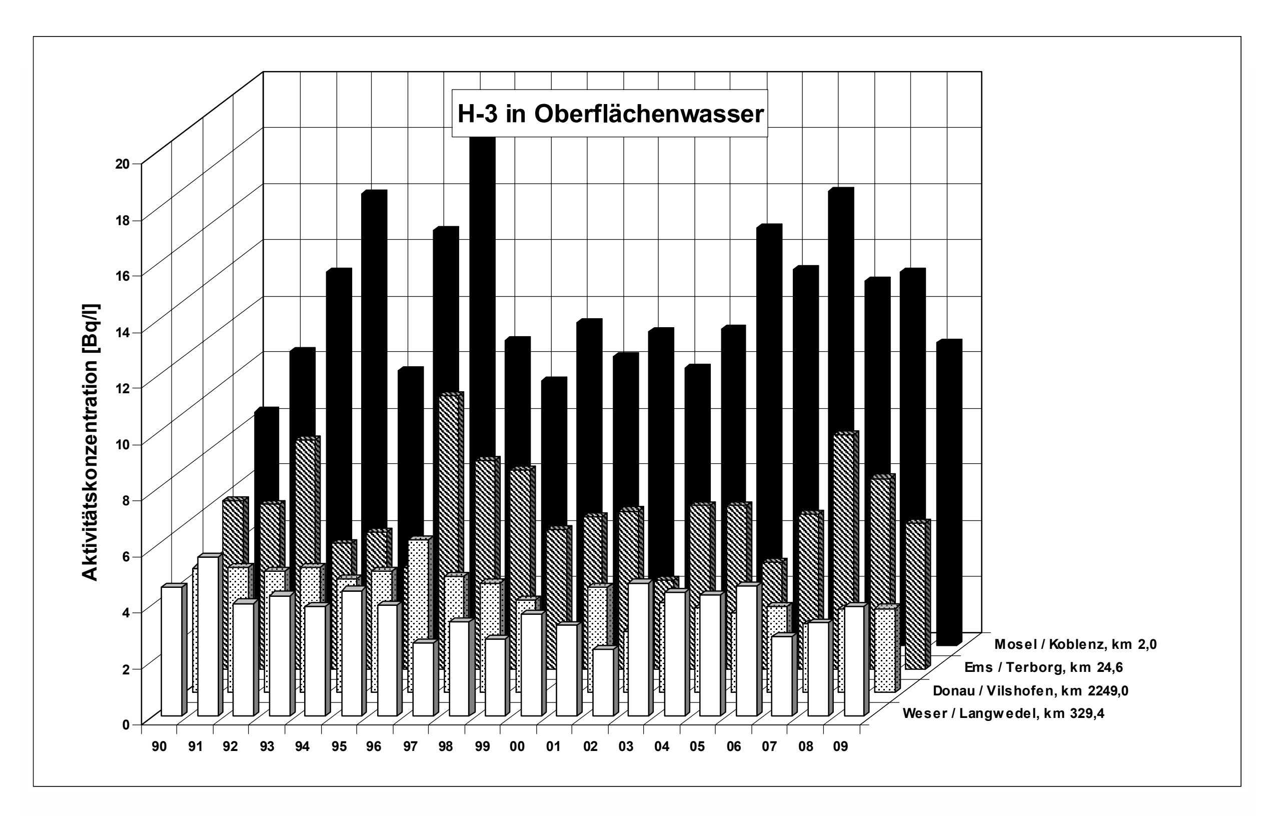


Abbildung 2.2.2-2 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

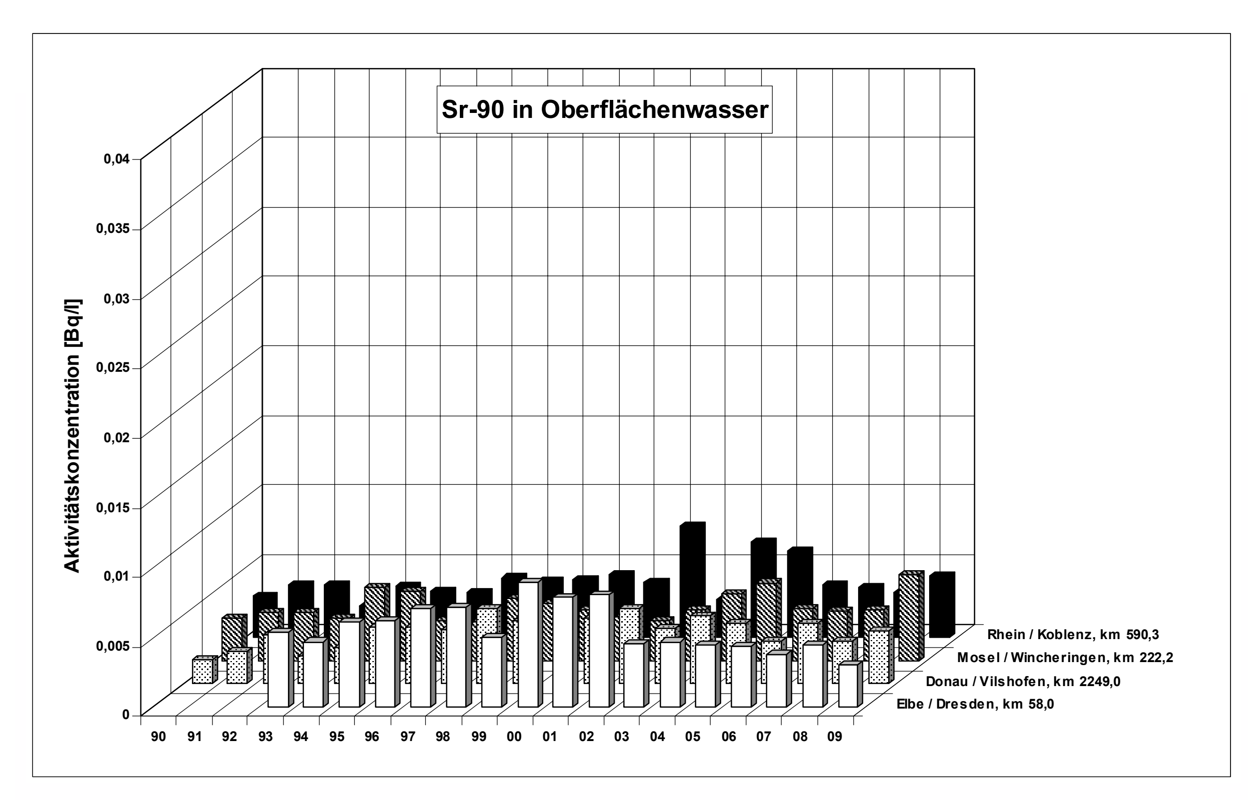


Abbildung 2.2.2-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Sr-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

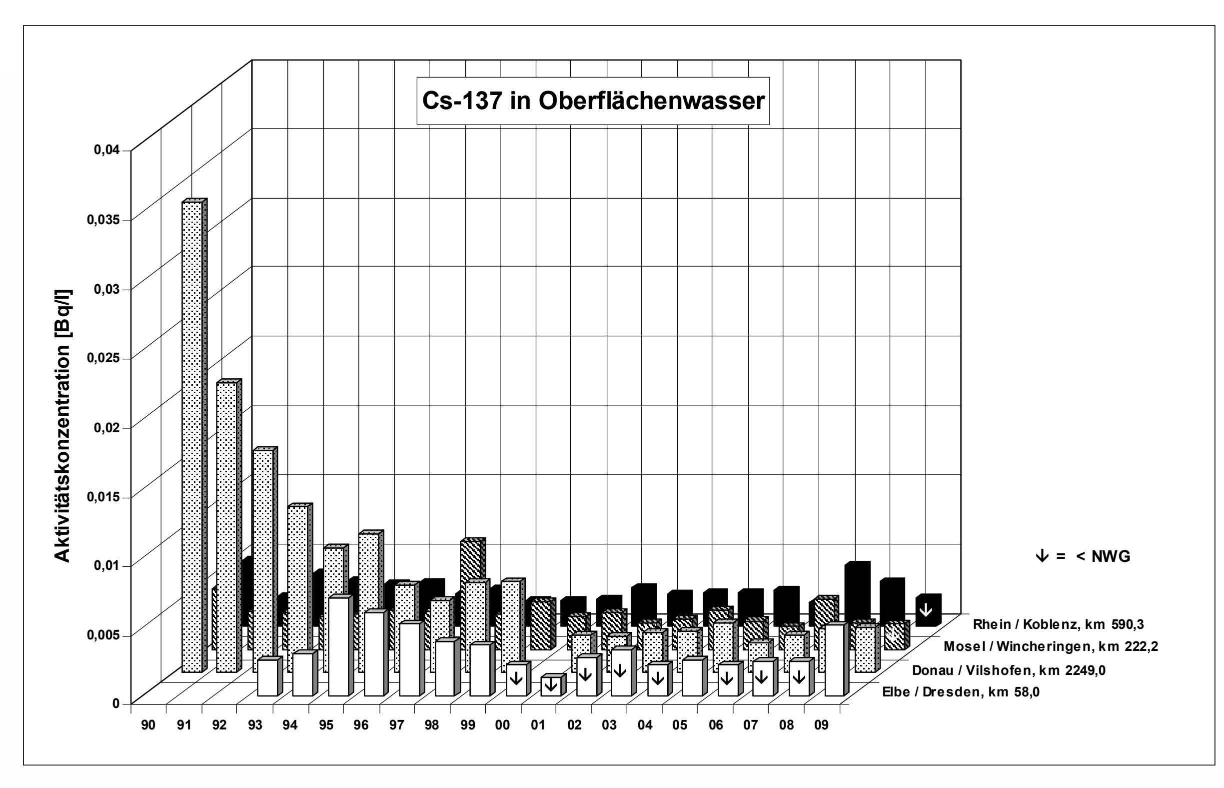


Abbildung 2.2.2-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

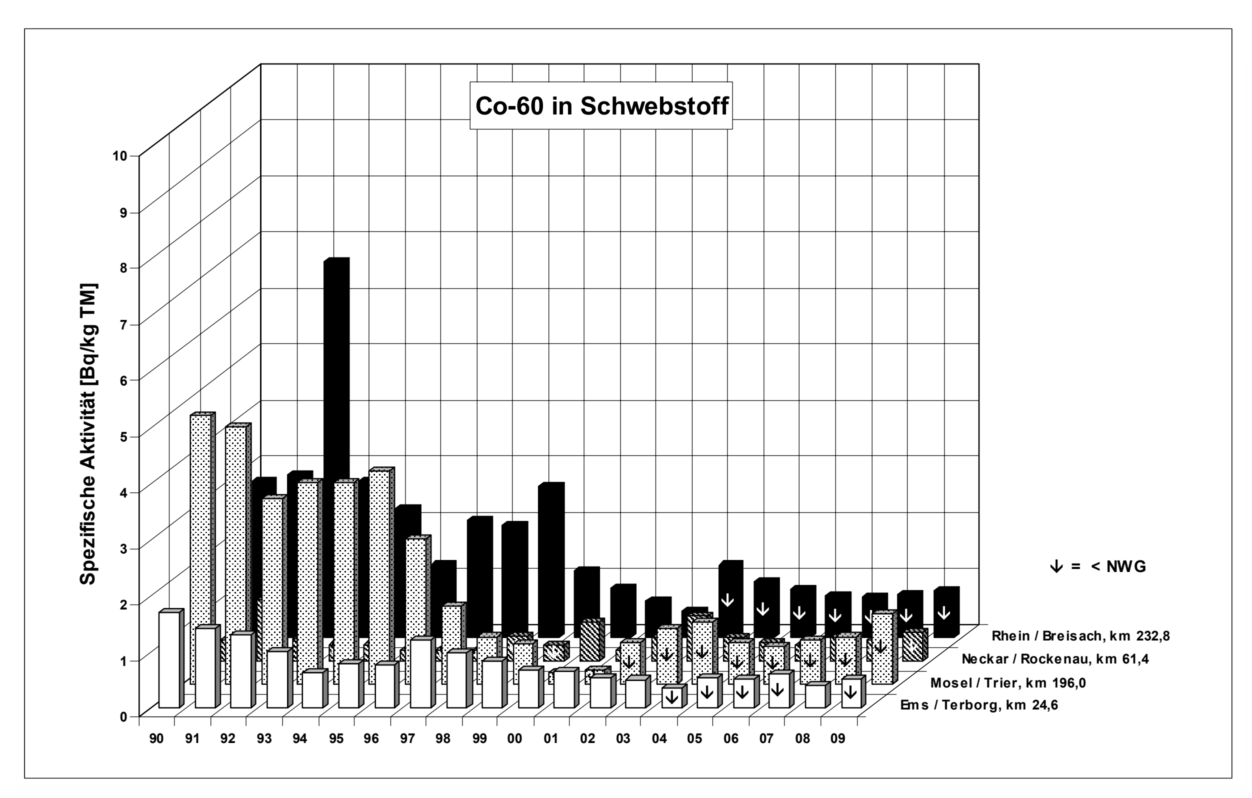


Abbildung 2.2.2-5 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

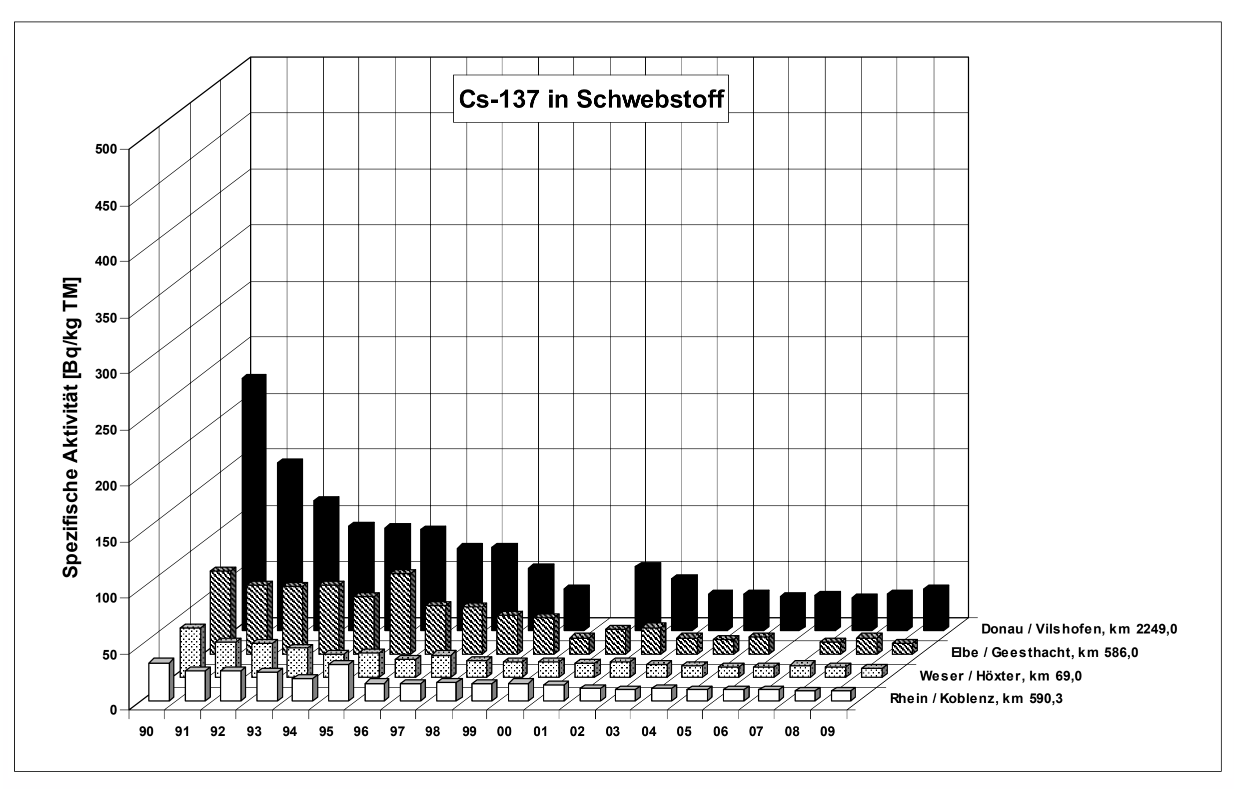


Abbildung 2.2.2-6 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

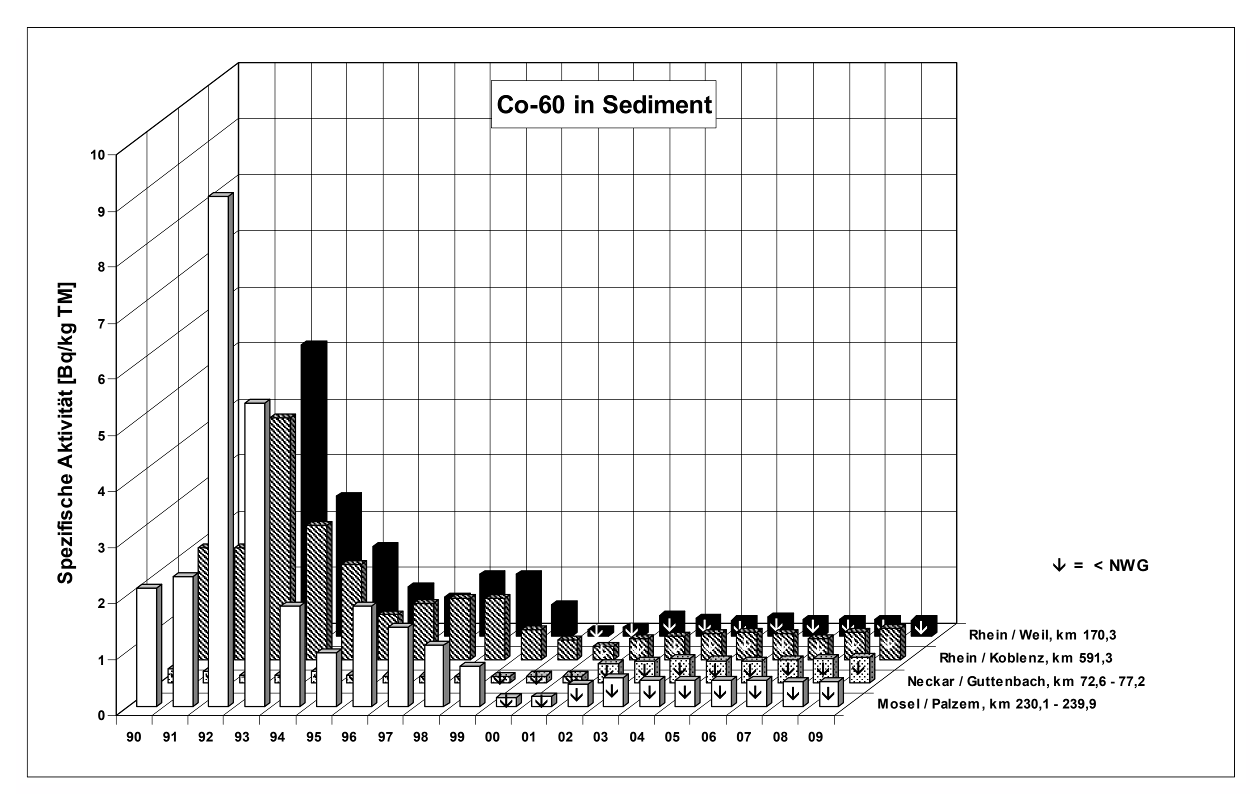


Abbildung 2.2.2-7 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

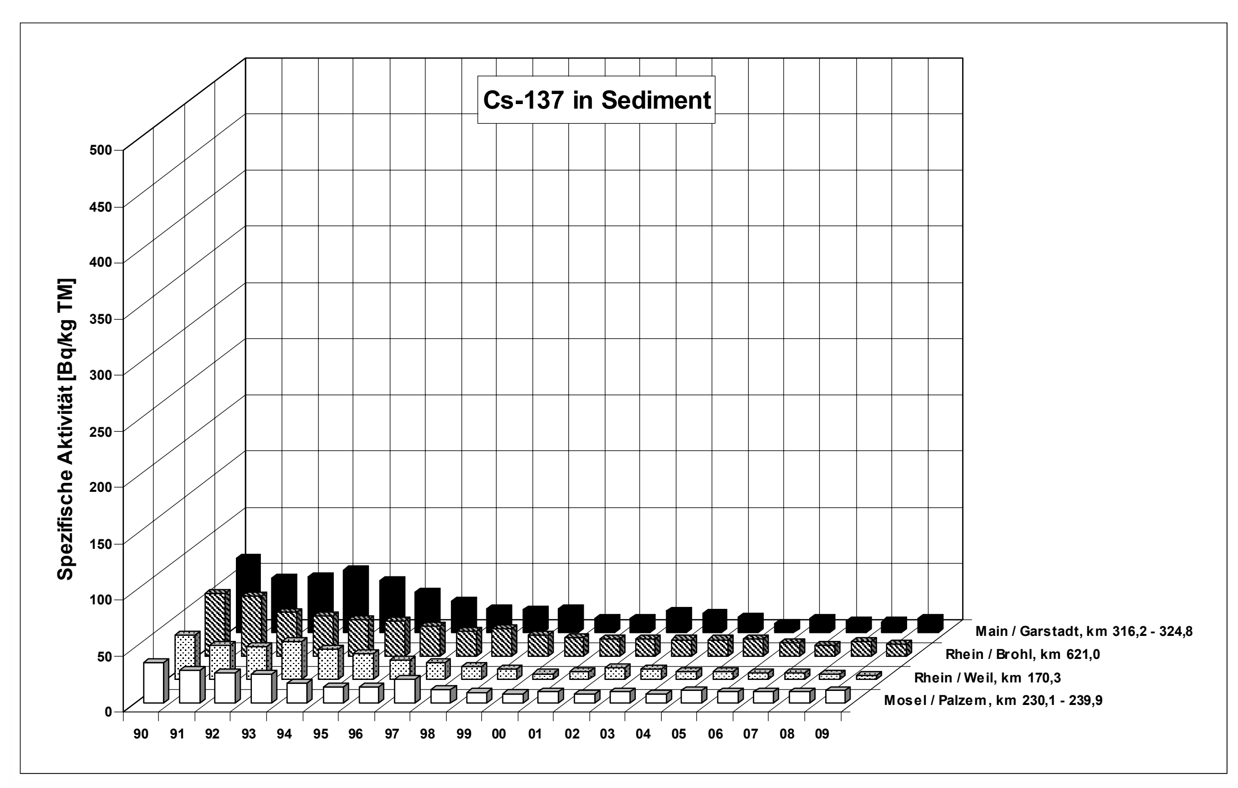


Abbildung 2.2.2-8 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cs-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters annual mean values)

Tabelle 2.2.2-2 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrVG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrVG)

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
RHEIN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	1,28	4,77	2,16	1,89
		Koblenz, km 590,3	12	0	2,16	5,83	4,19	3,76
		Wesel, km 814,0	11	0	2,14	5,79	4,15	4,20
	Sr-90	Weil, km 172,97	4	0	0,0016	0,0043	0,0033	0,0038
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0018	0,0067	0,0044	0,0033
		Wesel, km 814,0	4	1	<0,0015	0,0045	0,0033	0,0043
	Cs-137	Weil, km 172,97	11	8	<0,0016	0,0087	<0,0036	<0,0030
		Koblenz, km 590,3	12	9	0,0013	0,0033	<0,0021	0,0033
		Wesel, km 814,0	10	6	<0,0011	0,0023	<0,0020	<0,0030
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 172,97	12	12	<0,55	<5,07	nn	nn
		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,18	<0,80	nn	nn
		Wesel, km 814,0	9	9	<0,85	<4,34	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	3,33	15,8	8,2	8,3
		Koblenz, km 590,3	12	0	6,62	10,7	8,6	9,2
		Wesel, km 814,0	9	0	5,79	11,4	9,1	9,3
	I-131	Koblenz, km 590,3	10	1	3,14	<32,5	6,2	8,5
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Worms, km 444,50-446,60	-	-	-	-	-	1,51
	Co-60	Weil, km 170,3	8	8	<0,23	<0,33	nn	nn
		Worms, km 444,50-446,60	12	12	<0,10	<0,42	nn	nn
		Koblenz, km 591,3	4	4	<0,46	<0,64	nn	nn
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	8	8	<0,34	<0,84	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 170,3	8	0	3,48	5,12	4,06	5,05
		Worms, km 444,50-446,60	12	4	<0,19	7,84	2,33	6,1
		Koblenz, km 591,3	4	0	7,18	10,7	8,9	12,3
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	8	0	3,88	11,2	7,9	7,9
NECKAR								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	6,00	26,3	14,7	13,5
		Rockenau, km 61,4	12	0	4,08	13,2	8,5	8,4
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	2	<0,0015	0,0042	0,0037	0,0045
		Rockenau, km 61,4	4	1	<0,0015	0,0053	0,0039	0,0022
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	8	<0,0017	0,015	<0,0037	<0,0020
		Rockenau, km 61,4	11	9	<0,0015	<0,0028	<0,0022	0,0027
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	6,16	9,52	8,19	8,69
		Rockenau, km 61,4	4	0	3,82	6,89	5,22	4,96
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	10	0	3,13	9,22	6,68	-
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	6	0	7,48	8,76	8,16	8,7
		Guttenbach, km 72,0-77,2	13	0	0,28	9,58	6,55	6,94
MAIN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	1,05	21,0	7,0	6,9
		Eddersheim, km 15,3	12	0	1,02	11,6	4,1	4,2
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	2	<0,0015	0,0055	0,0042	0,0038
		Eddersheim, km 15,3	4	2	<0,0015	0,0046	0,0035	0,0031
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	11	2	0,0016	0,0085	0,0030	0,0036
		Eddersheim, km 15,3	9	7	<0,0011	<0,0027	<0,0020	<0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	4	0	9,78	25,3	19,9	20,6
		Garstadt, km 323,7	4	0	7,15	19,3	12,9	13,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	4,27	18,3	9,6	9,3
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	0	3,73	24,2	12,8	10,4

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
MOSEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	5,77	31,4	24,3	29,4
		Koblenz, km 2,0	12	0	5,77	18,2	10,8	13,4
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	1	<0,0015	0,0101	0,0062	0,0039
		Koblenz, km 2,0	4	0	0,0028	0,0046	0,0038	0,0036
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	7	<0,0011	0,0035	<0,0019	<0,0020
		Koblenz, km 2,0	12	7	<0,0011	<0,0024	<0,0017	0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	5	0	0,84	2,44	1,79	2,07
	Co-60	Perl, km 241,96	12	8	<0,51	18,4	<2,4	<0,75
		Trier, km 196,3	12	12	<0,66	<2,23	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 241,96	12	0	9,39	17,4	12,9	14,6
		Trier, km 196,3	12	0	9,73	15,3	12,6	12,4
	I-131	Perl, km 241,96	10	0	6,74	25,9	14,5	13,7
		Trier, km 196,3	11	3	7,81	36	16,6	12,0
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	10	10	<0,30	<0,56	nn	nn
		Trier, km 184,1-196,1	10	10	<0,18	<0,63	nn	nn
		Koblenz/Güls km 4,05	4	4	<0,26	<0,65	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	10	0	8,74	16,9	12,6	13,4
		Trier, km 184,1-196,1	10	0	3,45	13,4	9,2	8,7
		Koblenz/Güls, km 4,05	4	0	8,70	11,4	10,0	14,2
SAAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	11	0	0,82	1,63	1,15	1,26
	Sr-90		4	1	<0,0015	0,0056	0,0036	0,0032
	Cs-137		12	7	<0,0013	0,0163	<0,0034	0,0029
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	12	0	8,04	25,3	14,1	15,3
DONAU								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	0	0,88	1,75	1,30	1,53
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	1,55	5,72	3,00	2,97
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	3	0	0,0033	0,0047	0,0038	0,0028
		Vilshofen, km 2249,0	4	0	0,0033	0,0045	0,0038	0,0031
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<0,0042	<0,0057	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	11	6	<0,0011	0,0050	<0,0023	0,0029
		Vilshofen, km 2249,0	12	4	0,0014	0,0054	0,0033	0,0032
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	-	-	-	-	-	101
		Ulm-Böfingen, km 2582,4	4	0	49,0	88,7	66,5	-
		Regensburg, km 2381,3	4	0	36,7	57,4	45,1	46,4
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	27,8	49,6	37,5	33,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	-	-	-	-	-	90,3
		Ulm-Böfingen, km 2582,4	4	0	27,9	37,9	34,8	-
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	6	0	23,7	221	71	34,6
		Straubing, km 2326,7	4	0	39,1	44,6	42,6	41,2
		Grünau, km 2205,5	2	0	5,45	5,76	5,61	17,9
ISAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	3	<5,2	13,0	<7,2	12
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0062	<0,011	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	4	<0,0045	<0,0078	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	11,1	24,2	18,1	20,0
		Platting, km 9,1	4	0	42,7	53,7	47,3	52,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	22,0	31,4	28,2	28,0
		Platting, km 9,1	4	0	10,4	42,0	27,9	19,1

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
EMS								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	1,39	43,2	13,5	16,5
		Terborg, km 24,64	8	0	1,54	11,9	5,2	6,8
	Co-60	Terborg, km 24,64	7	7	<0,0010	<0,0045	nn	nn
	Sr-90	Geeste, km 106,3	4	0	0,0031	0,0060	0,0044	0,0048
		Terborg, km 24,64	3	0	0,0019	0,0026	0,0023	0,0048
	Cs-137	Geeste, km 106,3	12	7	<0,0011	0,0042	<0,0023	<0,0018
		Terborg, km 24,64	7	5	<0,0014	<0,0057	<0,0030	0,0044
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	3	3	<0,48	<0,53	nn	0,40
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	14,1	20,7	17,5	20,4
		Terborg, km 24,64	4	0	3,72	4,74	4,18	4,34
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Herbrum, km 212,75	3	0	3,93	6,21	4,72	6,33
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	11	0	3,06	23,8	7,4	5,7
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,77	5,79	3,90	3,32
		Blexen, km 430,00	12	0	3,14	6,29	4,60	3,91
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	0	0,0023	0,0061	0,0040	0,0037
		Langwedel, km 329,4	4	1	<0,0015	0,0036	0,0029	0,0040
		Blexen, km 430,0	4	1	<0,0015	0,0043	0,0032	0,0033
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	11	9	<0,0013	0,0041	<0,0023	<0,0018
		Langwedel, km 329,4	12	9	<0,0015	0,0027	<0,0020	0,0033
		Blexen, km 430,0	11	6	0,0017	<0,0062	<0,0030	0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	6,71	11,2	9,4	9,8
		Langwedel, km 329,4	12	0	4,71	12,0	8,4	11,3
		Wilhelmshaven/Jadebusen	2	0	4,07	4,98	4,53	-
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Vorhafen	3	3	<0,22	<0,74	nn	0,74
	Cs-137	Minden, km 204,40	5	0	8,08	18,1	11,2	9,0
		Bremen, km 373,97	4	0	3,64	10,5	6,3	4,70
		Wilhelmshaven/Vorhafen	3	0	1,93	2,51	2,31	4,87
ELBE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	4	0	3,37	8,45	5,06	5,55
		Tangermünde, km 389,10	12	0	2,21	4,51	3,02	3,85
		Geesthacht, km 586,0	12	0	1,93	3,87	2,78	3,02
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	0	1,44	3,91	2,79	3,90
		Cuxhaven, km 724,5	-	-	-	-	-	-
	Sr-90	Dresden, km 58,0	1	0	0,0030	0,0030	0,0030	0,0045
		Tangermünde, km 389,10	4	0	0,0034	0,0050	0,0042	0,0064
		Geesthacht, km 586,0	4	1	<0,0015	0,0046	0,0031	0,0034
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0029	0,0032	0,0030	0,0030
		Cuxhaven, km 724,5	-	-	-	-	-	-
	Cs-137	Dresden, km 58,0	4	1	<0,0025	0,0073	0,0051	<0,0025
		Tangermünde, km 389,10	11	8	<0,0017	0,0064	<0,0025	<0,0023
		Geesthacht, km 586,0	12	5	0,0016	<0,0029	0,0022	<0,0029
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	1	0,0014	0,0030	0,0021	<0,0018
		Cuxhaven, km 724,5	-	-	-	-	-	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	I-131	HH (Bunthaus), km 609,8	3	0	1,04	5,89	2,84	1,37
	Cs-137	Dresden, km 58,0	4	0	23,0	28,5	25,7	19,3
		Geesthacht, km 586,0	4	0	7,99	11,5	10,0	15,5
		HH (Bunthaus), km 609,8	3	0	10,8	22,8	15,2	9,7
		Cuxhaven, km 726,3	-	-	-	-	-	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	3	0	20,6	22,4	21,3	26,6
		Arneburg, km 403,5	4	0	17,6	40,0	29,4	20,2
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	20,4	21,5	21,0	24,3
		Cuxhaven, km 726,3	3	0	2,60	5,44	3,56	3,11

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
ODER								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,20	10	0	0,73	1,68	0,99	1,07
		Schwedt, km 690,55	7	0	0,83	1,12	0,97	1,04
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	0,0040	0,0084	0,0055	0,0059
		Schwedt, km 690,55	3	0	0,0048	0,0059	0,0055	0,0047
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	10	5	<0,0014	0,0033	0,0026	0,0039
		Schwedt, km 690,55	5	3	<0,0015	0,0089	<0,0037	0,0038
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	14,1	22,7	18,1	19,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hohensaaten, km 667,5	4	0	11,3	13,5	12,4	16,6
SPREE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<2,32	<2,50	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	10	0	0,57	1,19	0,80	0,90
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	3	1	<0,0015	0,0029	0,0023	0,0031
	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	1	0,0010	0,0042	0,0022	0,0019
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	10	5	<0,0015	0,0040	0,0028	<0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	I-131	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	2	<0,84	3,5	2,8	2,75
	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	7	0	14,2	26,8	18,0	16,8
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	3,23	10,5	6,7	3,30
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	-	-	-	-	-	-
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	7,11	26,7	20,6	19,9
HAVEL								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	11	0	0,71	1,15	0,87	0,92
	Sr-90		4	0	0,0020	0,0049	0,0035	0,0025
	Cs-137		12	7	<0,0015	0,0037	<0,0022	0,0039
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	26,5	53,2	43,3	50,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	6,24	36,4	25,8	28,8
SAALE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	0,77	1,14	0,91	1,08
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,6	<4,3	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	3	0	0,0029	0,0045	0,0038	0,0037
		Camburg, km 187,0	4	0	0,0032	0,0049	0,0042	0,0042
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	11	<0,0011	<0,0024	<0,0019	<0,0028
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,013	<0,019	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	12,0	16,1	13,5	12,2
		Camburg, km 187,0	4	0	33,6	36,0	34,7	34,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 105,5	4	0	7,34	11,0	9,0	8,1
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	12,8	16,8	14,9	14,2
PEENE								
Oberflächen-wasser(Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	11	0	0,80	1,29	0,94	1,03
	Sr-90		4	1	<0,0015	0,0038	0,0030	0,0037
	Cs-137		12	6	<0,0011	0,0042	0,0035	<0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	23,4	55,8	36,8	31,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	20,3	25,5	23,7	27,1
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	11	0	1,05	1,48	1,23	1,35
	Sr-90		4	1	<0,0015	0,0070	0,0059	0,0039
	Cs-137		11	2	0,0017	0,020	0,008	0,011

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	2	0	28,4	34,0	31,2	39,0
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	1,01	1,28	1,15	1,34
	Sr-90		4	0	0,0024	0,0071	0,0045	0,0051
	Cs-137		12	0	0,0024	0,042	0,014	0,013
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	15,3	31,8	27,0	33,5

Tabelle 2.2.2-3 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrVG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrVG)

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
BADEN-WÜRTTEMBERG / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0043	<0,0097	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<0,0052	<0,011	nn	0,0065
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	1,06	9,99	5,13	3,31
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0043	0,0055	0,0050	0,0039
	Cs-137		4	4	<0,0009	<0,0089	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	23,0	53,5	39,9	49,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	3	0	5,76	19,5	11,0	10,5
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0068	0,0121	0,0098	0,010
	Cs-137		4	4	<0,0068	<0,0099	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	3	0	17,0	199	118	154
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	5	0	65,6	132	87	82,5
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	4	<2,32	<2,50	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0035	0,0043	0,0040	0,0036
	Cs-137		4	2	<0,0012	0,0025	0,0021	0,0027
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	1	0,97	5,97	3,86	4,12
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	39,1	49,6	43,5	42,3
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<2,23	<2,50	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0034	0,0039	0,0037	0,0041
	Cs-137		4	2	<0,0015	0,0031	0,0029	0,0021

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	3	0	1,55	10,7	4,9	9,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	60,2	111	85	100
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Neuglobsow	4 4 4	4 0 0	<5,17 0,0085 0,007	<6,12 0,014 0,008	nn 0,013 0,008	nn 0,015 0,009
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	12	20	16	18
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Alt-Schadow	4 4 4	3 0 4	<6,1 0,004 <0,014	10 0,005 <0,019	<8,46 0,005 nn	nn 0,005 nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	21	23	22	21
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	0,97	1,2	1,1	1,1
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Erbach	4 4 4	4 3 4	<5,19 0,008 <0,003	<5,50 <0,017 <0,007	nn <0,011 nn	nn 0,009 nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	2	0	16,7	20,0	18,3	16,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	7,01	14,8	11,0	12,0
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Lüssow	4 4	2 4	3,38 <0,0069	<4,98 <0,012	3,72 nn	<4,62 nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	3,72	14,0	8,3	5,30
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	1,04	20,0	8,6	3,79
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Schwerin	4 4 4	4 0 3	<4,77 0,0020 0,0048	<5,36 0,0037 <0,0245	nn 0,0030 <0,0123	<4,60 0,0051 <0,0092
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	44,5	92,3	68,2	73,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	33,5	41,6	37,6	30,4
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Osterode am Harz	4 4 4	4 0 4	<1,3 0,0005 <0,0006	<2,0 0,0023 <0,0010	nn 0,0015 nn	1,5 0,0026 <0,0008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	3	0	3,40	42,0	28,1	40
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	42	73	53	47
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Wunstorf	4 4	4 0	<1,3 0,0041	<1,7 0,0070	nn 0,0057	1,3 0,010
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	180	330	240	303

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	58,0	140	100	175
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Möhnesee	4 1 4	4 0 4	<2,94 0,018 <0,0024	<3,83 0,018 <0,0035	nn 0,018 nn	6,85 0,0084 nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Roetgen	4 4	4 4	<10 <0,0003	<10 <0,0005	nn nn	nn <0,0004
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	5,4	8,8	7,6	8,4
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Maria Laach	4 4	4 0	<1,5 0,026	<3,0 0,031	nn 0,029	< 2,9 0,032
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	62	85	76	90
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Thoßfell	4 4	4 4	<4,0 <0,0054	<4,6 <0,0067	nn nn	nn nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	60,2	83,0	71,0	55,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	43,3	82,3	62,7	45,8
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Arendsee	4 4	4 0	<5,0 0,045	<5,0 0,074	nn 0,058	nn 0,060
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	39,2	86,0	60,5	27,6
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Schollene	4 4	4 0	<5,0 0,0088	<5,0 0,034	nn 0,024	nn 0,024
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	173	263	222	244
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seedorf	4 4 4	4 4 4	<10 <0,01 <0,015	<10 <0,01 <0,033	nn nn nn	nn nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	147	154	151	157
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Gr. Wittensee	4 4	4 4	<10 <0,015	<10 <0,025	nn nn	nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	0	226	270	247	158
Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Luisenthal	4 4	4 4	<3,5 <0,013	<3,8 <0,021	nn nn	nn nn

2.2.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Surface water and sediment from inland water in the surroundings of nuclear facilities)

Dieses Kapitel enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsüberwachung des aquatischen Nahbereichs kerntechnischer Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) aus dem Jahr 2009. In die Auswertung wurden insgesamt ca. 6.770 Einzelwerte von Messungen an Wasser- und Sedimentproben einbezogen; sie erfolgte wie im vorigen Kapitel beschrieben.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in Oberflächenwasserproben aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar. Erhöhte Tritium-Konzentrationen (H-3) wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden: Die Werte betrugen hier im Mittel bis zu 2.300 Bq/l in der Ems (KKE Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber rasch wieder zurück (siehe auch Kapitel 2.2.2). Die Aktivitätskonzentrationen anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l oder waren wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen nicht explizit aufzeigbar. Dies gilt insbesondere für Sr-90 und Cs-137 als Folge des Kernwaffen-Fallouts und des Reaktorunfalls in Tschernobyl, sowie auch für I-131, das auf nuklearmedizinische Anwendungen zurückgeführt wurde. Einzelne Bestimmungen von Pu-238 und Pu-(239+240) ließen wegen der niedrigen Werte von unter ca. 0,0001 Bq/l signifikante Auswirkungen der jeweiligen Anlagen im Vorfluter nicht erkennen (Kalter Bach, FS Rossendorf). Andere Transurane wurden in Oberflächenwasser nicht nachgewiesen.

In Sedimentproben – und vereinzelt Schwebstoffproben - aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten der anlagentypischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. In einigen direkt am Auslauf entnommenen Sedimentproben wurden etwas höhere Gehalte an Co-60 gemessen: bis 55 Bq/kg TM in der Weser (KWW Würgassen). Für Cs-137 waren auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung (siehe oben) Einflüsse von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzuzeigen. Für Alpha-Strahler wurden im Hirschkanal (FZ Karlsruhe) etwas erhöhte mittlere Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität ($G\alpha$) mit 643 und für Am-241 mit 14,7 Bq/kg TM im Mittel gemessen. Ansonsten wurden Transurane in Sedimenten nicht nachgewiesen.

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Konzentrationen traten z. B. als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in Proben aus der Mosel auf mit Jahresmittelwerten von ca. 27 Bq/l. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die auf dem „Trinkwasser-Pfad“ für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,3 µSv/a. Für Kleinkinder (<= 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,6 µSv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 µSv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,2% ausgeschöpft werden.

Gehalte an Co-60 von 55 Bq/kg TM wurden in Sedimentproben aus der Weser (KWW Würgassen) gemessen. Für den Fall, dass derartiges Sediment gebaggert und an Land gelagert werden würde, lässt sich die auf dem sensitiven Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ zu erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a) für Standardbedingungen zu ca. 17 µSv/a abschätzen. Sie würde damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 µSv/a liegen.

Tabelle 2.2.3-1 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	**Nuklid**	**Probenentnahmestelle**	**Anzahl 2009**		**Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität**			
					Einzelwerte 2009		**Jahresmittelwerte**	
			N	**<NWG**	**min. Wert**	**max. Wert**	**2009**	**2008**
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0056	<0,013	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,027	<0,045	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,020	<0,035	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0046	<0,0087	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,027	<0,043	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,020	<0,026	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,317	<0,375	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,256	<0,352	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,322	<0,424	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	3,43	3,78	3,60	3,80
		vor KKW Leibstadt	2	0	6,05	7,01	6,53	6,87
		nach KKW Leibstadt	2	0	3,62	4,27	3,95	4,66
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Weil	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		Neuf Brisach	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	Weil	12	12	<0,0075	<0,034	nn	nn
		Neuf Brisach	12	12	<0,0070	<0,038	nn	nn
	Cs-137	Weil	12	12	<0,0064	<0,029	nn	nn
		Neuf Brisach	12	12	<0,0073	<0,031	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grissheim km 206,5	2	2	<0,222	<0,412	nn	nn
		Breisach, km 232,0	2	2	<0,283	<0,328	nn	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grissheim km 206,5	2	0	1,76	2,92	2,34	2,23
		Breisach, km 232,0	2	0	2,32	4,66	3,49	3,51
RHEIN / HIRSCHKANAL / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	51	0	0,013	0,053	0,033	0,024
	Gβ		51	15	0,065	0,145	0,099	0,103
	H-3		63	51	1,65	<8,0	<3,75	<7,2
	Co-60		4	4	<0,0047	<0,011	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0040	<0,011	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	4	0	564	686	643	590
	Gβ		4	0	2.130	2.630	2.370	2.170
	Co-60		8	8	<0,379	<4,34	nn	nn
	Cs-137		8	0	58,9	447	187	105
	Am-241		6	0	2,59	31,6	14,7	5,24
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	15	13	3,0	<8,0	<7,2	<7,0
		Auslaufbauwerke I u. II	30	12	<4,4	89	29	33
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0047	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0052	<0,033	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0044	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0050	<0,033	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
		Auslaufbauwerk	1	0	1,58	1,58	1,58	1,17
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	3	0,403	<0,859	0,592	0,385
		Auslaufbauwerk	4	1	<0,694	2,02	1,45	1,95
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	8,18	14,0	12,0	12,5
		Auslaufbauwerk	4	0	6,98	10,2	8,7	10,2
RHEIN / KWB Biblis und BE-Zwischenlager								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	<5,2	<9,2	<6,5	<7,1
		Auslaufbauwerke A u. B	16	0	8,78	355	135	<8,26
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,024	<0,035	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,021	<0,039	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,020	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,019	<0,037	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,54	<0,65	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,48	<0,52	nn	0,17
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	9,5	11	10	10,0
		nach Auslaufbauwerk	2	0	10	11	11	5,59
RHEIN / KMK Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	4,1	9,4	7,5	8,5
		Auslaufbauwerk	8	5	<3,0	9,2	<6,9	<7
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0087	<0,022	nn	<0,020
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,010	<0,021	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0098	<0,019	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0091	<0,018	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,43	<0,51	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,56	<0,66	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	9,1	9,5	9,3	13
		nach Auslaufbauwerk	2	0	11	15	13	15
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	6	3,0	<8,0	4,2	<5,9
		Auslaufbauwerk	12	0	5,6	148	65	56
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0074	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0104	<0,043	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0081	<0,061	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0116	<0,060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,380	<0,711	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,259	<0,824	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	6,44	7,88	7,16	6,95
		nach Auslaufbauwerk	4	0	1,57	6,33	4,11	6,3
NECKAR / KWO Obrigheim (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	2	7,0	18,8	14,9	<8,2
		Auslaufbauwerk	8	1	<8,0	19,7	15,3	20
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0054	<0,016	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0052	<0,016	nn	<0,010
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0045	<0,018	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0046	<0,019	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,339	<0,577	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	2	<0,527	1,33	0,98	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	0,554	0,743	0,648	0,566
		nach Auslaufbauwerk	4	0	4,92	11,6	7,9	6,07
MAIN / KKG Grafenrheinfeld								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<6,1	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	0	39,5	400	211	119
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,033	<0,049	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,043	<0,049	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,033	<0,054	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,042	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<2,32	<2,70	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<1,58	<3,51	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	18,9	29,0	24,1	32,0
		nach Auslaufbauwerk	4	0	24,7	33,0	28,5	30,9
MAIN / GUSTAVSEE / Versuchskernkraftwerk Kahl (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Gustavsee/Kahl a. Main	a					nn
	Co-60		a					nn
	Cs-137		a					nn
MOSEL / KKW Cattenom								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Palzem, km 230	12	0	5,2	34	27	31
	Co-60		12	12	<0,012	<0,032	nn	nn
	Cs-137		12	12	<0,012	<0,031	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Palzem, km 230	2	1	0,53	<0,55	0,53	nn
	Cs-137		2	0	6,6	8,7	7,7	12

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<2,51	<7,92	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	0	92,5	159	129	137
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	7	<0,0031	<0,041	<0,020	nn
		Auslaufbauwerk I	8	4	0,0085	<0,038	<0,023	0,0067
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0034	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	5	<0,0068	<0,035	<0,021	<0,020
Sediment (Bq/kg)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,186	<0,459	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	0	2,04	8,58	5,39	3,41
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	80,2	97,4	89,5	88,6
		nach Auslaufbauwerk	4	0	54,2	65,3	61,8	51,9
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<2,59	<8,2	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	6	<2,59	412	187	327
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0020	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0021	<0,046	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0020	<0,0041	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0022	<0,0044	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,155	<0,465	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,154	<0,287	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	32,8	53,7	40,7	47,9
		nach Auslaufbauwerk	4	0	29,3	42,1	35,0	43,4
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle München								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	1	<3,44	39,9	15,5	34,7
	C-14		8	8	<0,10	<6,80	nn	nn
	Co-60		8	8	<0,0023	<0,037	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0025	<0,050	nn	nn
	U-235		2	1	0,0009	<0,0068	0,0009	nn
	Pu-238		2	2	<0,0026	<0,0049	nn	nn
	Am-241		2	2	<0,0033	<0,0068	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,23	<0,32	nn	nn
	Cs-137		4	0	9,8	32,5	20,1	15,4
	U-235		1	0	1,1	1,1	1,1	nn
	Pu-238		1	1	<0,407	<0,407	nn	nn
	Am-241		1	1	<0,697	<0,697	nn	nn
EMS / KKE Emsland								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	7	<1,5	<7,0	nn	<4,5
		Auslaufbauwerk	7	0	278	5.000	2.300	2.600
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0057	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0045	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0043	<0,0083	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0041	<0,0097	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,11	<0,44	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,45	<0,62	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	11	15	14	11
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	0	33	35	34	35
WESER / KWW Würgassen (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0027	<0,05	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0027	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	2	2	<2,3	<3,3	nn	nn
		Auslaufbauwerk	2	0	51	59	55	23
		Wehrden, km 60,2	2	2	<1,8	<2,5	nn	nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	2	0	13	23	18	18
		Auslaufbauwerk	2	0	73	74	74	38
		Wehrden, km 60,2	2	0	14	19	17	17

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	3	<1,6	5,35	3,6	3,8
wasser		Auslaufbauwerk	7	0	26	81	46	46
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0059	<0,037	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0066	<0,039	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0035	<0,0062	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0057	<0,0079	nn	nn
Sediment	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,25	<0,51	nn	nn
(Bq/kg TM)		Hess. Oldendorf, km 147	4	4	<0,23	<0,42	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	5,9	14	9	12
		Hess. Oldendorf, km 147	4	0	2,9	9,9	5,8	13
UNTERWESER / KKU Unterweser								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	3	3,5	<10	3,8	3,3
wasser		Auslaufbauwerk	7	0	12	36	20	22
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0068	<0,050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0059	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0060	<0,0098	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0056	<0,010	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	3	<0,26	<0,63	<0,46	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	3	<0,29	0,50	<0,36	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	2,7	11,0	7,1	7,7
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	3,2	6,7	5,1	4,9
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen-	H-3	Selhausen	8	8	<10	<10	nn	nn
wasser		Jülich-Süd	8	8	<10	<10	nn	nn
(Bq/l)	Co-60	Selhausen	8	8	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<0,05	<0,05	nn	nn
	Gα	Selhausen	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment	Co-60	Selhausen	2	2	<2,5	<2,7	nn	nn
(Bq/kg TM)		Jülich-Süd	2	2	<2,5	<2,7	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	16	20	18	17
		Jülich-Süd	2	0	12	14	13	12
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen-	Gα	Retentionsanlage	8	4	<0,055	<0,212	0,065	<0,13
wasser		Goorbach, unterhalb der	4	2	<0,060	<0,070	0,065	nn
(Bq/l)		Straßenkreuzung						
Sediment	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<1,6	<1,8	nn	nn
(Bq/kg TM)		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<1,9	<3,2	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage	2	0	14	16	15	22
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	17	34	26	14
	Ra-226	Retentionsanlage	2	0	49	66	58	105
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	60	120	90	53
	U-238	Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	19	19	19	-
AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen-	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
wasser	Rβ		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
(Bq/l)	H-3		4	4	<10	<10	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment	Co-60	Einleitung Moorbach	4	4	<2,0	<3,4	nn	nn
(Bq/kg TM)		Ahauser Aa	4	4	<1,7	<3,5	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	4	0	19	39	26	24
		Ahauser Aa	4	0	26	41	35	36
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,4	<10	nn	nn
wasser		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<5,4	<10	nn	nn
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,013	<0,028	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,014	<0,026	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,015	<0,027	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,016	<0,028	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,51	<1,3	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,66	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,47	<1,2	nn	<0,9
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,58	<1,2	nn	0,56
ELBE / KKK Krümmel								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<5,4	<6,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<5,4	<6,5	nn	<7
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0070	<0,038	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0061	<0,046	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0078	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0066	<0,047	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,16	<1,0	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,14	<1,0	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	2	0,83	2,3	1,3	1,3
		Auslaufbauwerk	8	3	0,50	<0,92	0,61	0,5
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	12	<5,15	10,2	<5,7	<5,0
		Auslaufbauwerk	16	0	6,31	59,9	22,7	29,1
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,041	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,038	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,90	<1,9	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,72	<1,2	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	3	<0,95	<2,4	<1,4	<1,3
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,51	1,3	1,0	12
ELBE / KKS Stade (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	12	0	1,56	5,87	3,22	3,42
		Auslaufbauwerk	7	3	3,7	9,1	5,6	5,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	13	<0,0011	<0,011	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0043	<0,042	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	5	<0,0013	<0,0096	0,0026	<0,003
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0037	<0,043	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,15	<0,46	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	3	3	<1,2	<2,7	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	4,3	8,0	6,3	7,3
		nach Auslaufbauwerk, km 660	3	0	1,4	5,0	3,0	3,5
ELBE / KKB Brunsbüttel								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<4,46	<5,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<4,46	<5,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0078	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0091	<0,046	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0031	0,0050	0,0036	0,0034
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0030	0,0047	0,0036	0,0039
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0089	<0,046	nn	<0,017
		Auslaufbauwerk	24	24	0,0076	<1,24	nn	<0,016
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,95	<1,5	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,90	<1,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	1,6	3,4	2,5	3,5
		nach Auslaufbauwerk	4	0	2,0	2,5	2,3	3,4
ELBE / GNS Gorleben								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	3	0	3,4	3,7	3,6	3,4
		Dömitz, km 504,4	3	0	3,1	3,8	3,5	3,5
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	3	3	<0,0006	<0,0010	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	3	3	<0,0009	<0,0018	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	6	2	0,0005	0,0016	0,0006	0,0005
		Dömitz, km 504,4	6	2	0,0004	<0,0016	0,0006	0,0007
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	1	1	<0,0007	<0,0007	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	1	1	<0,0006	<0,0006	nn	nn
	Pu-(239	Schnackenburg, km 474,6	1	1	<0,0007	<0,0007	nn	nn
	+240)	Dömitz, km 504,4	1	1	<0,0006	<0,0006	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	3	3	<0,13	<0,30	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	3	3	<0,15	<0,54	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	3	0	7,9	9,1	8,4	15
		Dömitz, km 504,4	3	0	1,2	21	13	12
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,11	<0,16	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,092	<0,098	nn	nn
	Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,11	<0,16	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,092	<0,098	nn	nn
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungszentrum Dresden-Rossendorf								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	24	13	<5,0	9,6	<6,1	8,2
		Wesenitz	2	2	<4,0	<4,7	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	24	19	0,0014	<0,020	<0,009	<0,009
		Wesenitz	2	2	<0,0066	<0,0067	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	21	13	<0,0017	<0,017	<0,010	<0,008
		Wesenitz	2	2	<0,0063	<0,0069	nn	nn
	Pu-238	Kalter Bach	4	4	<0,000015	<0,00022	nn	nn
	Pu-(239 +240)	Kalter Bach	4	2	<0,000030	0,000074	0,000066	<0,00008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	2	0	1,0	1,2	1,1	1,0
		Wesenitz	2	2	<0,35	<0,43	nn	nn
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,30	<0,37	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	2,9	14	10	13
		Wesenitz	2	0	2,9	3,5	3,2	7,9
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	0	1,0	2,7	1,9	8
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	a					nn
		nach Salzbach						nn
	Co-60	vor Salzbach	a					nn
		nach Salzbach						nn
	Cs-137	vor Salzbach	a					nn
		nach Salzbach						nn
	Gβ	vor Salzbach	a					0,37
		nach Salzbach						0,41
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	a					nn
		Schwanefeld						nn
	Cs-137	Belsdorf	a					5,3
		Schwanefeld						3,5
Diverse Vorfluter/ Forschungsbergwerk Asse								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Vorfluter b. Groß Vahlberg	1	1	<1,6	<1,6	<1,6	-
		Vorfluter b. Wittmar	1	1	<1,6	<1,6	<1,6	-
		Vorfluter b. Espenberg	1	1	<1,6	<1,6	<1,6	-
	Co-60	Vorfluter b. Groß Vahlberg	1	1	<0,0025	<0,0025	<0,0025	-
		Vorfluter b. Wittmar	1	1	<0,0020	<0,0020	<0,0020	-
		Vorfluter b. Espenberg	1	1	<0,0021	<0,0021	<0,0021	-
	Sr-90	Vorfluter b. Groß Vahlberg	1	0	0,0044	0,0044	0,0044	-
		Vorfluter b. Wittmar	1	0	0,0013	0,0013	0,0013	-
		Vorfluter b. Espenberg	1	0	0,0018	0,0018	0,0018	-
	Cs-137	Vorfluter b. Groß Vahlberg	1	1	<0,0023	<0,0023	<0,0023	-
		Vorfluter b. Wittmar	1	1	<0,0017	<0,0017	<0,0017	-
		Vorfluter b. Espenberg	1	1	<0,0018	<0,0018	<0,0018	-
	U-235	Vorfluter b. Groß Vahlberg	1	1	<0,0095	<0,0095	<0,0095	-
		Vorfluter b. Wittmar	1	1	<0,0083	<0,0083	<0,0083	-
		Vorfluter b. Espenberg	1	1	<0,0074	<0,0074	<0,0074	-
HAVEL / KKR Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	50 m vor Auslauf	5	5	<4,6	<10	nn	nn
		50 m nach Auslauf	5	5	<4,6	<10	nn	nn
	Co-60	50 m vor Auslauf	16	16	<0,0017	<0,018	nn	nn
		50 m nach Auslauf	16	16	<0,0008	<0,018	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	16	6	0,0020	<0,18	0,007	<0,006
		50 m nach Auslauf	16	4	0,0030	<0,18	0,007	0,007

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2009		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2009		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2009	2008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50 m vor Auslauf	2	2	<0,097	<0,11	nn	nn
		50 m nach Auslauf	2	2	<0,11	<0,13	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	2	0	1,1	14	8	9
		50 m nach Auslauf	2	0	2,0	16	9	10
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen-wassser (Bq/l)	H-3	vor Auslauf	16	16	<4,7	<10	nn	<5,4
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	15	3,3	<10	<8,6	<5,5
	Co-60	vor Auslauf	16	16	<0,0040	<0,049	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<0,0036	<0,049	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	16	11	0,013	0,063	<0,036	<0,033
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	11	0,019	<0,064	<0,039	<0,032
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslauf	2	2	<0,25	<0,33	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,20	<0,26	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	5,4	5,9	5,7	5,4
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	1,6	4,1	2,9	3,2

a Daten lagen nicht vor - Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen / nachweisbar

2.2.4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)

In den Tabellen 2.2.4-1 bis 2.2.4-3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2009 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Im Jahr 2009 wurden aus dem Kontrollbereich des ERAM insgesamt 13,2 m^3 Abwasser abgegeben (Vorjahr: 3,3 m^3).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken (Tabelle 2.2.4-1) liegen in der Größenordnung der Abgaben der Vorjahre und unterschreiten die entsprechenden Genehmigungswerte deutlich.

Für Druck- und Siedewasserreaktoren lagen die insgesamt abgegebenen Mengen an Spalt- und Aktivierungsprodukten bei 0,8 GBq bzw. 1,2 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 204 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 4 TBq.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Forschungszentren (Tabelle 2.2.4-2), den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (Tabelle 2.2.4-3) und des Endlagers Morsleben (Tabelle 2.2.4-4) liegen bezüglich der einzelnen Radionuklidgruppen ebenfalls in der Größenordnung der Abgaben der letzten Jahre.

Im Jahr 2009 wurden aus der Schachtanlage Asse keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad (vgl. Teil B -II- 2.1.5). Für die der Schachtanlage aus dem Nebengestein zutretende Salzlösung wurde das Lösungsmanagement der Schachtanlage Asse umgestellt und für die Entsorgung der abzugebenden Zutrittslösung ein Freigabekonzept nach § 29 StrlSchV erarbeitet, das seit Ende 2008 zur Anwendung kommt.

Tabelle 2.2.4-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2009 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2009 - *summation values, tritium and alpha sources)*

Kernkraftwerk	Aktivität in Bq		
	Spalt und Aktivierungs-produkte (außer Tritium)	Tritium	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
VAK Kahl [1]	-	-	-
KWL Lingen [1]	2,6 E06	9,2 E05	nn
KWW Würgassen [1]	6,7 E06	2,9 E09	nn
KKB Brunsbüttel	4,6 E07	1,7 E10	nn
KKI Isar 1	9,0 E07	5,0 E11	nn
KKP Philippsburg 1	9,1 E07	4,6 E11	nn
KKK Krümmel	4,5 E05	6,5 E10	nn

KRB Gundremmingen	9,4 E08	3,0 E12	nn
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim [1]	3,8 E08	1,2 E10	nn
KKS Stade [1]	7,4 E06	6,5 E10	6,3 E04
KWB Biblis Block A	8,6 E07	1,1 E13	nn
KWB Biblis Block B	1,0 E08	8,8 E12	nn
GKN Neckar 1	nn	7,8 E12	nn
KKU Unterweser	8,6 E07	1,9 E13	nn
KKG Grafenrheinfeld	2,4 E07	2,7 E13	nn
KWG Grohnde	1,9 E07	2,4 E13	nn
KKP Philippsburg 2	3,9 E07	1,7 E13	nn
KMK Mülheim-Kärlich [1]	7,2 E06	2,0 E08	nn
KBR Brokdorf	nn	2,0 E13	nn
KKI Isar 2	nn	2,5 E13	nn
KKE Emsland	nn	1,5 E13	nn
GKN Neckar 2	nn	2,7 E13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 [1]	nn	8,7 E08	nn
KKR Rheinsberg [1]	5,8 E06	7,3 E08	nn

1 Anlage stillgelegt

\- keine Ableitung von Abwasser

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze)

Tabelle 2.2.4-2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres)

Forschungszentrum	Aktivität in Bq					
	Spalt- und Aktivierungs-produkte (außer Tritium)		Tritium		α-Strahler	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	2,0 E07	9,1 E06	7,5 E10	1,5 E12	2,0 E06	1,0 E06
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,1 E08	9,1 E07	1,9 E11	2,2 E11	nn	nn
GKSS Forschungszentrum Geesthacht	8,3 E06	1,9 E07	3,3 E07	1,3 E08	8,8 E03	1,2 E04
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	1,2 E05	1,5 E05	3,6 E08	4,6 E08	1,9 E04	1,2 E04
Garching FRM I	4,6 E04	nn	5,1 E08	nn	nn	nn
Garching FRM II	4,9 E07	6,2 E07	1,9 E10	2,5 E10	nn	nn
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	1,4 E06	9,9 E05	nn	1,8 E08	nn	9,7 E04

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze)

Tabelle 2.2.4-3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants)

Betrieb	α-Strahler	α-Strahler
	Aktivität in Bq	Aktivität in Bq
	2009	2008
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn
URENCO (Gronau)	4,6 E03	2,3 E03

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze)

Tabelle 2.2.4-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with waste water from the final repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivität in Bq	
	2009	2008
Tritium	4,4 E04	4,3 E05
Nuklidgemisch (außer Tritium)	5,2 E02	4,5 E02

2.3 Böden
(Soil)

2.3.1 Boden, Pflanzen und Futtermittel
(Soil, plants, and animal feeding stuff)

Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort, wie sie in den nachfolgenden Tabellen für Boden und Bewuchs ausgewiesen sind, gehen auf Probennahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war wie auch in den Vorjahren im Jahr 2009 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In Tabelle 2.3.1-1 sind Messwerte für als Weiden oder Wiesen genutzte Böden zusammengefasst. In Tabelle 2.3.1-2 sind entsprechende Werte für Ackerböden und in Tabelle 2.3.1-3 für Waldböden wiedergegeben. Für nicht genannte Bundesländer liegen jeweils keine vergleichbaren Daten vor.

In der Vegetationsperiode 2009 wurden verschiedene Pflanzenproben gammaspektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

In Tabelle 2.3.1-4 sind für die genannten Aufwuchsarten die ermittelten Mittel- und Maximalwerte für Cs-137 und - sofern vorhanden - Sr-90 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die entsprechenden Mittelwerte für die beiden Vorjahre aufgenommen worden. In einigen Ländern wurden weitere im Inland erzeugte und importierte Futtermittelrohstoffe überwacht. Entsprechende Messergebnisse sind in den Tabellen 2.3.1-5 und 2.3.1-6 zusammengestellt. In Tabelle 2.3.1-7 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 2.3.1-5 bis 2.3.1-7 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

Tabelle 2.3.1-1 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-	2007	0 - 10	9	31,7	69,2	6	1,5	2,5
Württemberg	2008	0 - 10	11	30,1	95,7	6	2,2	7,9
	2009	0 - 10	6	31,5	101,0	4	2,1	2,8
Bayern	2007	0 - 10	20	101,1	389,6	17	5,5	14,7
	2008	0 - 10	20	91,5	377,9	17	5,3	10,0
	2009	0 - 10	20	92,1	377,7	17	3,3	8,1
Berlin	2007	0 - 10	4	9,8	16,6	1	0,7	-
	2008	0 - 10	5	9,5	15,6	1	0,6	-
	2009	0 - 10	4	12,9	16,8	1	1,0	-
Brandenburg	2007	0 - 10	9	18,6	52,0	4	2,4	4,0
	2008	0 - 10	9	17,7	33,0	4	1,9	3,0
	2009	0 - 10	9	14,4	32,0	4	1,0	1,6
Bremen	2007	0 - 10	2	15,4	29,1	-	-	-
	2008	0 - 10	2	17,8	26,1	-	-	-
	2009	0 - 10	2	17,4	25,7	-	-	-
Hamburg	2007	0 - 10	1	3,8	-	-	-	-
	2008	0 - 10	1	5,2	-	-	-	-
	2009	0 - 10	1	4,8	-	-	-	-

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2007	0 - 10	2	22,8	28,6	-	-	-
	2008	0 - 10	2	26,6	39,4	-	-	-
	2009	0 - 10	2	9,3	10,9	-	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	2007	0 - 10	10	11,5	31,0	3	0,9	1,8
	2008	0 - 10	10	12,6	34,3	3	<0,7	1,3
	2009	0 - 10	10	16,7	57,7	3	0,7	1,5
Niedersachsen	2007	0 - 10	14	24,4	51,3	9	1,9	3,3
	2008	0 - 10	19	<23,2	78,8	-	-	-
	2009	0 - 10	14	<23,4	62,8	11	2,8	6,3
Nordrhein-Westfalen	2007	0 - 10	14	12,6	26,1	4	2,3	6,9
	2008	0 - 10	14	13,8	30,5	5	<1,2	3,3
	2009	0 - 10	13	12,6	25,6	4	2,2	6,7
Rheinland-Pfalz	2007	0 - 10	7	16,3	20,2	3	0,8	1,1
	2008	0 - 10	7	18,4	37,8	3	0,9	1,0
	2009	0 - 10	7	16,3	23,6	3	1,0	1,1
Saarland	2007	0 - 10	4	25,0	40,8	2	1,8	1,8
	2008	0 - 10	4	24,5	42,3	2	1,7	2,1
	2009	0 - 10	4	23,1	33,8	2	7,5	12,8
Sachsen	2007	0 - 10	8	12,1	39,3	5	1,0	2,1
	2008	0 - 10	8	11,7	25,5	5	0,9	1,3
	2009	0 - 10	8	12,6	27,0	5	0,8	1,3
Sachsen-Anhalt	2007	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2008	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2009	0 - 10	a	a	a	a	a	a
Schleswig-Holstein	2007	0 - 10	8	14,6	22,9	6	1,2	1,5
	2008	0 - 10	8	11,6	18,3	6	1,0	1,2
	2009	0 - 10	8	11,1	17,8	6	0,9	1,3
Thüringen	2007	0 - 10	7	23,6	32,8	3	1,5	2,0
	2008	0 - 10	7	21,3	35,2	3	1,0	1,4
	2009	0 - 10	7	19,6	31,4	3	1,1	1,4

a Messwerte lagen nicht vor

\- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.3.1-2 **Radioaktive Kontamination von Ackerböden**
(Radioactive contamination of arable soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2007	0 - 30	8	23,9	73,3	-	-	-
	2008	0 - 30	13	23,9	84,0	1	<0,2	-
	2009	0 - 30	13	22,2	73,5	3	2,3	2,9
Bayern	2007	0 - 30	30	30,5	199,3	3	6,5	12,9
	2008	0 - 30	30	29,6	177,2	2	1,3	1,5
	2009	0 - 30	30	27,0	183,1	3	6,6	17,8
Berlin	2007	0 - 30	2	7,0	8,3	1	1,2	-
	2008	0 - 30	2	6,9	7,6	1	0,7	-
	2009	0 -30	2	6,6	7,6	1	0,6	-
Brandenburg	2007	0 - 30	9	10,8	27,0	3	0,5	0,6
	2008	0 - 30	9	12,2	32,0	3	0,3	0,4
	2009	0 - 30	a	a	a	a	a	a
Bremen	2007	0 - 30	3	13,4	26,0	2	0,9	0,9
	2008	0 - 30	2	7,8	10,9	2	1,0	1,4
	2009	0 - 30	3	7,7	10,1	2	1,2	1,3
Hamburg	2007	0 - 30	1	6,0	-	1	0,8	-
	2008	0 - 30	1	5,9	-	1	0,8	-
	2009	0 - 30	1	6,6	-	1	0,6	-
Hessen	2007	0 - 30	6	9,5	15,4	2	0,7	0,8
	2008	0 - 30	6	10,0	22,6	2	0,8	1,3
	2009	0 -30	6	8,8	18,9	1	1,5	-
Mecklenburg-Vorpommern	2007	0 - 30	7	9,0	19,2	2	1,0	1,7
	2008	0 - 30	7	7,8	14,2	2	0,4	0,5
	2009	0 - 30	7	8,6	16,2	2	0,4	0,6
Niedersachsen	2007	0 - (25/30)	28	9,8	18,7	9	1,0	1,4
	2008	0 - (25/30)	23	13,5	95,7	-	-	-
	2009	0 - (25/30)	21	10,5	38,1	4	1,7	3,3
Nordrhein-Westfalen	2007	0 - 30	12	9,8	19,1	5	1,3	3,2
	2008	0 - 30	10	9,1	19,0	5	<1,2	2,9
	2009	0 - 30	10	8,7	14,5	4	<0,9	1,8
Rheinland-Pfalz	2007	0 - (25/30)	8	7,4	16,2	2	0,6	0,8
	2008	0 - (25/30)	8	8,4	19,3	2	1,1	1,8
	2009	0 - (25/30)	8	6,6	15,1	2	0,8	0,8
Saarland	2007	0 - 30	1	12,5	-	a	a	a
	2008	0 - 30	1	7,8	-	a	a	a
	2009	0 - 30	1	13,8	-	a	a	a
Sachsen	2007	0 - 30	7	9,1	24,5	a	a	a
	2008	0 - 30	7	8,3	17,7	a	a	a
	2009	0 - 30	7	8,0	20,1	a	a	a

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Sachsen-Anhalt	2007	0 - 30	15	24,0	97,1	5	<0,5	0,6
	2008	0 - 30	15	14,1	59,9	5	1,1	1,6
	2009	0 -30	15	9,8	46,3	5	<0,7	1,1
Schleswig-Holstein	2007	0 - 30	5	7,3	10,3	a	a	a
	2008	0 - 30	5	6,9	8,9	a	a	a
	2009	0 - 30	5	7,9	10,7	a	a	a
Thüringen	2007	0 - 30	6	9,5	13,2	2	1,2	1,2
	2008	0 - 30	6	10,3	20,7	2	1,3	1,3
	2009	0 - 30	6	8,6	12,0	2	1,1	1,1

a Messwerte lagen nicht vor

\- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.3.1-3 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2007	0 - 10	4	33,5	67,7	2	3,4	6,1
	2008	0 - 10	4	31,1	54,8	2	1,5	2,4
	2009	0 - 10	4	34,2	56,1	2	3,0	5,5
Niedersachsen	2007	0 - 10	2	39,6	78,6	a	a	a
	2008	0 - 10	2	63,5	73,8	a	a	a
	2009	0 - 10	2	24,3	30,5	1	3,6	-
Nordrhein-Westfalen	2007	0 - 10	2	109,5	173,0	a	a	a
	2008	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2009	0 - 10	a	a	a	a	a	a

a Messwerte lagen nicht vor

\- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.3.1-4 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2007	10	<0,4	1,8	5	0,3	0,5
	2008	26	<0,3	1,1	11	0,3	0,7
	2009	22	<0,3	0,7	11	0,3	0,5
Bayern	2007	57	<0,6	5,5	29	0,6	1,5
	2008	55	<0,7	8,1	28	<0,6	3,0
	2009	57	<0,8	12,2	29	0,5	1,6
Berlin	2007	3	0,3	0,4	1	0,6	-
	2008	4	<0,5	0,7	1	0,5	-
	2009	4	<0,6	1,2	1	0,6	-
Brandenburg	2007	17	<1,2	6,5	9	0,4	0,7
	2008	17	<0,8	3,5	9	0,4	0,7

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
	2009	17	<1,6	11,0	8	0,4	0,8
Bremen	2007	2	0,2	0,2	1	0,4	-
	2008	2	1,4	2,5	1	2,0	-
	2009	2	0,4	0,6	1	2,4	-
Hamburg	2007	2	<0,2	0,3	a	a	a
	2008	1	0,2	-	a	a	a
	2009	1	0,1	-	a	a	a
Hessen	2007	15	<0,2	< 0,3	8	0,4	1,1
	2008	14	<0,4	1,4	7	0,5	1,6
	2009	15	<0,5	2,1	8	0,4	1,0
Mecklenburg-Vorpommern	2007	20	<0,3	3,1	8	0,7	3,0
	2008	20	<0,6	5,4	8	<0,2	0,3
	2009	20	<0,4	5,1	8	0,3	0,5
Niedersachsen	2007	44	<1,6	16,3	21	<0,2	0,9
	2008	48	<1,1	11,1	a	a	a
	2009	42	<1,4	13,8	21	0,3	2,2
Nordrhein-Westfalen	2007	21	<0,2	0,5	9	<0,3	0,7
	2008	20	<0,3	1,4	10	0,3	1,1
	2009	21	<0,3	0,9	10	0,5	2,0
Rheinland-Pfalz	2007	14	<0,3	0,6	7	0,6	0,8
	2008	14	<0,2	1,1	7	0,4	0,9
	2009	14	<0,2	0,4	7	0,4	0,7
Saarland	2007	4	<0,5	<0,5	2	0,9	1,4
	2008	4	<0,5	<0,5	2	0,5	0,6
	2009	4	<0,5	<0,5	2	0,3	0,4
Sachsen-Anhalt	2007	11	<0,4	0,8	5	0,2	0,4
	2008	10	<0,3	0,4	5	0,2	0,6
	2009	10	<0,5	2,1	5	<0,1	0,5
Sachsen	2007	14	<0,3	1,6	6	0,4	0,7
	2008	14	<0,4	3,9	6	0,3	0,5
	2009	14	<0,7	6,2	6	0,2	0,3
Schleswig-Holstein	2007	22	<0,2	0,7	12	0,4	0,7
	2008	22	<0,3	0,7	12	0,4	0,7
	2009	22	<0,3	1,6	12	0,4	0,7
Thüringen	2007	17	<0,2	1,9	5	0,2	0,4
	2008	17	<0,2	1,0	5	0,2	0,3
	2009	17	<0,1	0,5	5	0,2	0,3

a Messwerte lagen nicht vor

\- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.3.1-5 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mais u.	2007	246	<0,5	6,9	-	-	-
Maissilagen	2008	242	<0,5	7,2	-	-	-
	2009	251	<0,4	5,3	2	3,2	6,3
Futterrüben	2007	29	<0,5	1,8	-	-	-
	2008	31	<0,6	2,2	-	-	-
	2009	27	<0,6	2,4	-	-	-
Futtergetreide	2007	148	<0,2	2,0	-	-	-
	2008	144	<0,2	2,1	-	-	-
	2009	143	<0,2	0,7	1	0,1	-
Grünfutterpflan-zen (ohne Mais)	2007	6	<3,2*	76,2**	-	-	-
	2008	6	<0,3	<0,5	-	-	-
	2009	6	<1,8	9,5	1	1,1	-
Futterkartoffeln	2007	83	<0,6	5,6	-	-	-
	2008	78	<0,5	2,0	-	-	-
	2009	72	<0,5	2,4	-	-	-
Erbsen	2007	5	<0,1	<0,2	-	-	-
	2008	2	<0,2	<0,2	-	-	-
	2009	4	<0,2	<0,3	-	-	-
Raps	2007	46	<0,2	0,5	-	-	-
	2008	43	<0,3	2,2	-	-	-
	2009	34	<0,2	0,5	-	-	-
Ölkuchen/	2007	1	<0,1	-	-	-	-
Ölschrote	2008	1	<0,5	-	-	-	-
	2009	11	<0,3	<0,5	-	-	-
Sonnenblumen	2008	2	<0,6	0,7	-	-	-
	2009	2	<0,3	<0,3	-	-	-
Kraftfuttermi-schung	2008	1	<0,2	-	-	-	-
	2009	a	a	a	-	-	-

a Messwerte lagen nicht vor

\- Messung / Angabe nicht erforderlich

* Der Mittelwert ohne den Maximalwert: <0,7 Bq/kg TM; höchster Wert 2,0 Bq/kg TM

** Der Wert ist im IMIS „nicht repräsentativ“ gesetzt

Tabelle 2.3.1-6 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(Radioactive contamination of imported feedstuffs)

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	2007	6	<0,20	<0,4
	2008	8	<0,34	1,3
	2009	13	<0,4	1,8
Mais, Maisprodukte	2007	11	<0,38	1,5
	2008	12	<0,12	0,2
	2009	12	<0,5	3,3
Heu, Cobs	2007	3	<3,6	10,0
	2008	1	<0,3	-
	2009	2	<0,4	0,5
Maniok, Tapioka	2007	2	<0,2	<0,2
	2008	1	<0,2	-
	2009	a	a	a
Ölkuchen, Ölschrote	2007	53	<0,4	1,5
	2008	52	<0,4	1,7
	2009	46	<0,3	<0,9
Sonnenblumen	2007	2	<0,2	<0,2
	2008	3	<0,3	0,4
	2009	3	<0,2	0,4
Hirse	2008	6	<0,2	<0,4
	2009	a	a	a
Sojabohnen	2009	9	<0,4	0,8
Kraftfuttermischung	2007	a	a	a
	2008	4	<0,2	0,3
	2009	1	<0,1	-
Molkenpulver	2007	2	0,5	0,7
	2008	1	0,2	-
	2009	a	a	a
Citrustrester	2007	1	<0,4	-
	2008	1	0,7	-
	2009	a	a	a

a Messwerte lagen nicht vor
\- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.3.1-7 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(Radioactive contamination of plants (indicators))

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM Cs-137 Mittelwert	Aktivität in Bq/kg TM Cs-137 max. Wert
Blätter	2007	108	<11,3	449,3
	2008	102	<7,7	306,3
	2009	107	<8,8	392,1
Nadeln	2007	54	<32,8*	823,8**
	2008	52	<30,0*	741,0**
	2009	54	<39,1*	1274,0**
Gras	2007	100	<20,9*	586,0**
	2008	102	<13,2*	407,9**
	2009	105	<13,3	222,6
Farne (Thüringen)	2007	2	86,3	172,0
	2008	2	28,9	54,5
	2009	2	36,9	73,1

* Der Wert ist nicht repräsentativ
Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln: <17,8 in 2007; <16,1 in 2008; <15,8 in 2009
Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Gras: <15,2 in 2007; <9,3 in 2008

** Der Wert ist nicht repräsentativ

2.3.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Soil and vegetation from the surroundings of nuclear facilities)

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation in Bezug auf Radioaktivität im Boden nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt, wobei die aktuellen Aktivitätskonzentrationen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabellen 2.3.2-1 und 2.3.2-2 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.3.2-1 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of the soil in the vicinity of nuclear power plants)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/kg TM 2007 N	2007 Mittelwert	2008 N	2008 Mittelwert	2009 N	2009 Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	8	10,0	12	8,7	9	12,8 (3,2 - 30,0)
	Pu-238	3	<0,04	7	<0,63	5	<0,58 (<0,02-<1,3)
	Pu-(239+240)	3	0,2	7	<0,37	5	<0,42 (0,08-<0,73)
	Sr-90			3	0,5	3	0,8 (0,5 - 1,1)
KWO Obrigheim	Cs-137	8	7,9	8	7,0	4	5,9 (2,1 - 9,5)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	8	8,4	8	8,7	4	6,2 (3,1 - 10,0)
KKP Philippsburg	Cs-137	8	12,3	8	10,1	6	11,1 (1,1 - 19,0)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	8	21,1	8	17,6	6	15,4 (8,5 - 31,0)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	14,1	4	11,3	2	11,0 (10,0 - 12,0)
TRIGA Heidelberg	Cs-137	a		a		a	
BAYERN							
VAK Kahl	Cs-137	2	11,3	2	37,0	a	
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	37,2	10	37,9	10	38,5 (18,0 - 67,0)
KKI Isar	Cs-137	12	46,2	12	38,0	12	51,3 (17,0 - 100,0)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	5,4	10	6,4	10	7,8 (4,3 - 13,0)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	62,0	4	74,5	4	118,3 (32,0 - 210,0)
Framatome ANP Erlangen KWU	Cs-137	4	19,7	4	15,0	4	13,6 (7,2 - 22,0)
	Pu-238	2	b) <0,09; <0,09	2	b) 0,18; 0,24	4	<0,05 (<0,01-<0,08)
	Pu-(239+240)	4	<0,13	4	<0,19	4	<0,31 (<0,07- 0,97)
	U-235	4	0,36	4	<0,76	4	<0,26 (<0,16- 0,35)
	U-238	4	7,9	4	7,8	4	5,5 (2,1 - 8,5)
	Am-241	4	<0,08	4	<0,07	4	<0,08 (<0,07-<0,09)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	11,6	2	11	a	
	Pu-238	2	<0,1	2	b) <0,12; 0,15	a	
	Pu-(239+240)	2	<0,13	1	<0,11	a	
	U-235	2	0,2	2	b) 0,16; <0,3	a	
	U-238	2	5,2	2	b) 3,4; 6,0	a	
SBWK Karlstein	Gesamt-α	a		a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	6	13,6	9	11,7	2	12,0 (9,4 - 14,5)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	8,3	8	10,0	8	8,6 (5,9 - 19,0)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	10	6,8	10	7,5	6	7,0 (5,6 - 8,4)
Nuklearbetriebe Hanau [d]	Gesamt-α Asche	a		a		a	
	Rest-β Asche	a		a		a	
	Pu-(239+240) Asche	a		a		a	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	10,4	8	9,5	8	<8,4 (<0,14 - 13,0)
	U-235	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Zwischenlager Nord	Cs-137	24	10,1	12	9,7	12	7,9 (0,5 - 18,0)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	8	9,9	8	10,4	6	10,3 (5,5 - 15,0)
	Sr-90						
KKU Unterweser	Cs-137	12	16,0	18	13,4	12	13,4 (2,9 - 39,0)
	Sr-90						
KWG Grohnde	Cs-137	10	14,6	10	16,6	8	13,2 (5,6 - 27,0)
	Sr-90						
KKE Emsland	Cs-137	10	16,1	10	16,2	10	12,1 (2,0 - 23,0)
	Sr-90						
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	26	28,8	26	25,9	26	24,2 (8,3 - 50,0)
	Sr-90	4	5,0	4	4,6	4	<0,8 (<0,2 - 1,9)
	Pu-238	2	0,3	2	b)<0,12; <0,13	2	b) <0,10; <0,12
	Pu-(239+240)	2	<0,1	2	b) 0,12; <0,13	2	b) <0,10; <0,12
	Cs-137	a		a		a	
FMRB Braunschweig	Gesamt-α	a		a		a	
	Cs-137	a		a		a	
Schacht Konrad II [c]	Sr-90	a		a		a	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	a		a		a	
	U-234	a		a		a	
	U-235	a		a		a	
	U-238	a		a		a	
Schachtanlage Asse	Cs-137	4	10,6	4	9,2	4	8,2 (7,3 - 9,5)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	10	7,7	10	9,2	8	9,6 (3,9 - 24,1)
	Sr-90	6	1,0	6	0,9	6	0,5 (0,2 - 0,6)
KWW Würgassen	Cs-137	20	13,2	20	11,7	18	12,6 (3,3 - 39,3)
THTR Uentrop	Cs-137	8	19,3	8	13,9	6	18,2 (5,9 - 58,2)
	Sr-90	a		a		a	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	6,7	4	10,5	5	8,5 (6,6 - 10,9)
	Sr-90	5	0,5	4	0,5	5	0,6 (0,4 - 0,9)
UAG Gronau	U-238	10	<0,2	10	<0,1	10	<0, 2 (<0,2 - <0,2)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	10,5	4	8,9	4	9,2 (2,8 - 13,0)
KKW Cattenom (Frankreich)							
SACHSEN							
VKTA Dresden-Rossendorf	Cs-137	16	7,3	12	5,4	10	4,7 (1,8 - 11,0)
	Sr-90					2	8,9 (7,5 - 10,3)
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	a		8	7,2	a	
	Sr-90	a		4	0,2	a	
	Gesamt-β	a		4	575	a	
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	10	10,7	10	9,7	6	6,7 (3,5 - 9,4)
	Sr-90	2	0,3	2	0,3	2	0,3 (0,3 - 0,3)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	8	24,7	8	25,1	6	21,7 (16,0 - 43,0)
	Sr-90	2	b) 0,9; 3,1	2	2,5	1	3,4
KKK Krümmel	Cs-137	12	6,6	12	6,0	8	5,4 (4,5 - 6,8)
	Sr-90	6	0,8	6	0,7	6	0,6 (0,4 - 0,9)
KBR Brokdorf	Cs-137	16	14,3	16	14,4	13	13,0 (4,0 - 24,0)
	Sr-90	8	1,7	8	1,7	5	1,9 (0,7 - 2,7)

a Messwerte lagen nicht vor
b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte
c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme
d 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen

Tabelle 2.3.2-2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of vegetation in the vicinity of nuclear power plants)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	6	<0,16	12	<0,42	10	<0,18 (0,11 -<0,26)
	Pu-238	a		4	<0,09	2	<0,04 (<0,03-<0,05)
	Pu-(239+240)	a		4	<0,05	2	<0,02 (<0,01-<0,02)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,27	8	<0,33	4	<0,41 (0,18 - 0,86)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,40	9	<0,92	4	<0,32 (0,14 -<0,56)
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,48	8	<0,5	6	<0,36 (0,06 - 0,52)
	Sr-90	a		a		a	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	a		8	1,8	6	0,75 (0,35 - 1,2)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	a		4	0,56	2	0,12 (0,1 - 0,14)
TRIGA Heidelberg	Cs-137	a		a		a	
BAYERN							
VAK Kahl	Cs-137	2	<0,56	2	0,92*	a	
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	<0,23	10	<0,39	10	<0,40 (0,11 - 0,93)
KKI Isar	Cs-137	12	0,46	12	1,1	12	0,44 (0,05 - 1,6)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,29	10	<0,24	10	<0,17 (<0,03-<0,26)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	4,05	4	0,63	4	0,71 (0,53 - 0,96)
Framatome ANP Erlangen KWU	Cs-137	4	<0,45	4	<0,35	4	<1,22 (0,19 - 4,1)
	Pu-238	2	<0,08	2	<0,04	4	<0,02 (<0,01-<0,03)
	Pu-(239+240)	4	<0,04	4	<0,02	4	<0,02 (<0,01-<0,02)
	U-235	4	<0,04	4	<0,03	4	<0,06 (<0,01-<0,11)
	U-238	4	<0,13	4	<0,06	4	<0,08 (<0,01- 0,22)
	Am-241	4	<0,02	4	<0,02	4	<0,02 (<0,01-<0,04)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	<0,24*	2	<0,39*	a	
	Pu-238	2	b) <0,02; <0,07 *	2	b)<0,006; <0,07*	a	
	Pu-(239+240)	2	b) <0,02; <0,11 *	1	<0,008	a	
	U-235	2	b) <0,03; <0,05 *	2	b)<0,006; <0,05*	a	
	U-238	2	b) 0,01; 0,4 *	2	b)<0,09; 0,026*	a	
	Am-241	2	b) <0,01; <0,05 *	2	b)<0,005; 0,05*	a	
SBWK Karlstein	Gesamt-α	a		a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	6	<0,5	8	<0,39	1	0,8
	Sr-90	1	0,63	a		a	
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	1,26	8	1,69	8	2,13 (0,5 - 4,8)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,20	10	<0,16	6	<0,13 (<0,04-<0,26)
Nuklearbetriebe Hanau	Gesamt-α Asche	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Rest-β Asche	a		a		a	
	Pu-(239+240) Asche	a		a		a	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	<0,25	8	<0,14	8	<0,39 (0,05 - 1,7)
Zwischenlager Nord	Cs-137	24	0,20	12	<0,20	12	<0,20 (0,04 - 0,53)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	8	<0,41	8	0,12	6	<0,11 (<0,01 - 0,17)
KKU Unterweser	Cs-137	12	<1,3	12	<0,15	12	<0,19 (0,06 -<0,53)
	Sr-90						
KWG Grohnde	Cs-137	10	<0,25	10	<0,14	8	<0,12 (<0,04- 0,25)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	1	<0,24	1	<0,35	1	0,18
KKE Emsland	Cs-137	10	<0,66	10	<0,38	10	<0,24 (0,05 - 0,42)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	a		a			
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	20	<5,93	20	3,01	20	3,96 (0,03 - 16,0)
	Sr-90	4	2,9	4	2,4	4	2,8 (0,88 - 5,5)
FMRB Braunschweig	Cs-137	a		a		a	
Schacht Konrad II [c]	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
	Gesamt-α	a		a		a	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	a		a		a	
	Pu-238	a		a		a	
	Pu-(239+240)	a		a		a	
	U-234	1	2,1*	1	0,008	1	0,013
	U-235	1	<5,4*	1	<0,003	1	<0,002
	U-238	1	2,3*	1	0,007	1	0,016
Schachtanlage Asse	Cs-137	4	<0,2	4	<0,08	4	<0,06 (<0,04-<0,1)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	10	<0,23*	10	<0,24*	8	<0,31 (0,04 - 0,66)
	Sr-90	a					
KWW Würgassen	Cs-137	12	<0,3*	12	<0,18*	10	<0,06* (0,02 - 0,14)
	Sr-90	a		a			

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
THTR Uentrop	Cs-137	8	<0,76*	8	<0,82*	6	<0,31*(0,10-<0,82)
	Sr-90	a		a		a	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	11	0,21*	10	1,07	10	0,76 (0,04 - 5,2)
	Sr-90	10	0,33*	10	1,61	10	0,43 (0,15 - 0,87)
UAG Gronau	U-238	4	<0,3*	5	<0,1*	4	<0,4*(<0,4 - <0,4)
	Uran	12	<0,16*	12	<0,17*	12	<0,22*(0,05 -<0,23)
	Fluor (mg/kg TM)	12	<1,6	12	<1,7	12	<1,5 (<1,5 - 1,9)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,17	4	<0,22	4	<0,24 (0,12 - 0,32)
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	16	<0,27*	12	<0,39*	10	0,21*(0,05 -<0,62)
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	a		8	<0,26	a	
	Gesamt-β	a		4	230	a	
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	8	<0,38	8	<0,47	4	<0,25 (0,11 - 0,33)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	8	<0,13	8	<0,11	6	<0,16 (<0,07-<0,36)
	Sr-90	a		a		a	
KKK Krümmel	Cs-137	8	0,26	8	0,35	4	0,30 (0,13 - 0,6)
	Sr-90	6	0,49	6	0,51	4	0,63 (0,49 - 0,95)
KBR Brokdorf	Cs-137	14	<0,27	14	<0,42	10	<0,48 (0,12- 1,8)
	Sr-90	a		a		a	

a Messwerte lagen nicht vor

b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte

c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

* In Bq/kg TM angegebene Messwerte wurden mit dem Faktor 0,2 in Bq/kg FM umgerechnet. Nachweisgrenzen wurden nicht umgerechnet

2.4 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser
(Foodstuff, groundwater, and drinking water)

2.4.1 Grundwasser und Trinkwasser
(Groundwater and drinking water)

Bezüglich allgemeiner Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Grund- und Trinkwasser wird auf Teil A - II - 2.4 verwiesen.

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz im Jahr 2009 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.1-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Cs-137, Sr-90 und H-3.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 45 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen (NWG) von 0,87 mBq/l bis 39 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte beträgt <6,6 mBq/l (2008: <6,0 mBq/l).

In 30% der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,32 mBq/l bis 40 mBq/l (2008: 0,31 bis 17 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei <2,5 mBq/l (2008: 2,0 mBq/l).

In einer Probe wurde H-3 mit einem Wert von 5,1 Bq/l bestimmt, die gefundenen Nachweisgrenzen liegen zwischen 1,5 Bq/l und 10 Bq/l.

Trinkwasser

Die Überwachung von Roh- und Reinwässern wurde an 88 bzw. 87 Probenentnahmestellen vorgenommen.

In der Tabelle 2.4.1-1 wird zwischen Rohwasser (Grund- oder Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) und Reinwasser (wird von den Wasserwerken als Trinkwasser in das Netz eingespeist) unterschieden. Für die weiteren Betrachtungen werden die Reinwasserwerte benutzt.

Für Cs-137 liegen fast alle Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,25 mBq/l bis 27 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen bei 10 mBq/l (2008: 5,8 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <8,2 mBq/l (2008: <8,4 mBq/l).

In 50% der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 1,0 mBq/l und 24 mBq/l (2008: 1,0 und 7,0 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 3,2 mBq/l (2008: 3,5 mBq/l). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

Im Rahmen des Routinemessprogramms für Grundwasser und Trinkwasser wurden auch alpha-spektrometrische Messungen von Uran- und Plutoniumisotopen durchgeführt. Die Messwerte für die Uranisotope liegen in dem für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bekannten Schwankungsbereich von bis zu 0,2 Bq/l. Konzentrationen von Plutoniumisotopen konnten oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen nicht nachgewiesen werden.

Eine Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr klein. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 von 10 mBq/l und Sr-90 von 24 mBq/l zu Grunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 700 Liter (für die Referenzperson gemäß StrlSchV Anlage VII Teil B) für den Erwachsenen Ingestionsdosen von 0,000091 bzw. 0,00047 Millisievert pro Jahr. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 340 Liter Ingestionsdosen von 0,000071 bzw. 0,00188 Millisivert pro Jahr.

Tabelle 2.4.1-1 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland
(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany)

	Nuklid	2009						2008
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [a]	Maximal-wert [a]	Mittel-einzel-wert [a]	Median	Median
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	91	53	35	610		160	130
	Cs-137	91	91				<6,6	<6,0
	Sr-90	47	33	0,32	40		<2,5	<2,0
	H-3	52	51		5.100		<4.600	<4.400
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	107	58	31	16.000		<150	<160
	Cs-137	115	111	3,0	10		<5,5	<6,3
	Sr-90	58	29	0,26	12	3,9	3,5	3,5
	H-3	65	56	560	5.400		4.400	<5.000
Reinwasser	K-40	241	160	20	1300		<160	<160
	Cs-137	240	234	10	10		<8,2	<8,4
	Sr-90	71	36	1,0	24		<3,2	<3,5
	H-3	63	59	750	5.600		<4.500	<5.000

a Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert-, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet

2.4.2 Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Groundwater and drinking water from the surroundings of nuclear facilities)

Die von den amtlichen Messstellen der Länder nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen im Jahr 2009 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.2-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Co-60, K-40, Cs-137, Sr-90 und Tritium, sowie - wenn vorhanden - Rest-Beta- und Gesamt-Alpha-Aktivität.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 129 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegt ein Messwert über den angegebenen Nachweisgrenzen von 0,36 mBq/l bis 870 mBq/l (2008: 0,36 bis 62 mBq/l). Der Messwert liegt bei 13 mBq/l, der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <20 mBq/l (2008: <17 mBq/l).

Die Werte für die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (66% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 2,6 mBq/l und 5,0 mBq/l (2008: 1,7 bis 7,2 mBq/l). Der Median liegt bei 3,8 mBq/l (2008: 3,8 mBq/l).

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 29 mBq/l und 160 mBq/l (2008: 10 bis 150 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von <70 mBq/l (2008: <47 mBq/l).

Die Rest-Beta-Aktivitätskonzentrationen wurden in 24 Proben gemessen. Alle Werte lagen unter den gefundenen Nachweisgrenzen von 50 mBq/l bis 100 mBq/l. Der Median aller Werte beträgt <100 mBq/l (2008: <70 mBq/l).

In 12% der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 1,6 Bq/l bis 21 Bq/l nachgewiesen (2008: 1,3 Bq/l bis 31 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei <7,3 Bq/l (2008: <7,4 Bq/l). Einzelwerte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag in der Größenordnung zwischen 1 Bq/l und 2 Bq/l.

Die maximalen Tritiumkonzentrationen bis 21 Bq/l (2008: 31 Bq/l - Freilager für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf) wurden bei der Überwachung des Kernkraftwerkes Phillipsburg sowie auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf gemessen. In Dresden-Rossendorf wurden auch wieder Co-60-Kontaminationen von bis zu 0,120 Bq/l (2008: 0,070 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- und Co-60-Aktivitätskonzentrationen im Grundwasser auf dem Betriebsgelände des Freilagers sind auf eine Kontamination des Untergrundes infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Kernkraftwerkes Phillipsburg und des Forschungsstandortes Dresden-Rossendorf weisen H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 10 Bq/l auf.

Trinkwasser

Im Jahr 2009 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen Messwerte von 40 Rohwasser- und 28 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt.

In der Tabelle 2.4.2-1 wird zwischen Rohwasser (Grund- oder Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) und Reinwasser (wird von den Wasserwerken als Trinkwasser in das Netz eingespeist) unterschieden. Für die weiteren Betrachtungen werden die Reinwasserwerte benutzt.

Für Cs-137 wurden keine Messwerte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,31 mBq/l bis 49 mBq/l (2008: keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei <9 mBq/l (2008: <11 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Sr-90 liegen zwischen 0,22 mBq/l und 3,3 mBq/l (2008: 1,6 bis 5,7 mBq/l), mit einem Median aller Werte von <3,0 mBq/l (2008: <4,0 mBq/l).

In 2 von 65 gemessenen Proben wurde H-3 in Konzentrationen bei 26 Bq/l und 34 Bq/l (2008: 6,9 bis 51 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <8 Bq/l (2008: <5,4 Bq/l). Die über den derzeitigen Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) zurückzuführen, das durch H-3-Emissionen kerntechnischer Anlagen geringfügig belastet ist. Alle H-3-Werte oberhalb 10 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum weist lediglich Tritiumkonzentrationen von <10 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition für die betroffenen Personen.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr gering.

Tabelle 2.4.2-1 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in Germany-groundwater and drinking water)

	Nuklid	2009						2008
		Anzahl gesamt [a]	Anzahl <NWG	Minimalwert [b]	Maximalwert [b]	Mittelwert [b]	Median	Median
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	184	107	25	24.000		460	<410
	Co-60	364	355	30	120		<29	28
	Cs-137	216	215		13		<20	<17
	H-3	377	333	1.600	21.000		<7.300	<7.400
	Sr-90	18	6	2,6	5	3,6	3,8	3,8
	R-Beta	24	24				<100	<70
	G-Alpha	42	24	29	160		<70	47
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	62	49	37	160		<300	<320
	Co-60	91	91				22	<17
	Cs-137	68	68				<9,6	<13
	H-3	90	84	2.700	10.000		<5.200	<5.400
	Sr-90	19	11	0,3	6		6	<20
	G-Alpha	3	0	55	66	60	58	50
Reinwasser	K-40	70	54	45	230		<150	150
	Co-60	71	71				<10	<12
	Cs-137	71	71				<9	<11
	H-3	85	83	26.000	34.000		<8.000	<5.400
	Sr-90	19	15	0,22	3,3		<3	<4

a Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ-Spektrometrie die Einhaltung der Nachweisgrenze nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d. h. für andere γ-strahlende Radionuklide müssen die Nachweisgrenzen von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die Nachweisgrenzen für Cs-137 und K-40 mitteilen, kann für diese Nuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als bei Co-60 sein

b Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert-, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet

2.4.3 Milch und Milchpodukte
(Milk and milk products)

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten Cs-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration ist seit einigen Jahren auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

Die Messwerte, die für Milch und Milchprodukte ermittelt wurden, können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden. In Tabelle 2.4.3-1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre aufgenommen worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen „<" gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 2.4.3-1 angegeben werden, basieren auf Messergebnissen der Ländermessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt wurden. Abbildung 2.4.3-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2009.

Tabelle 2.4.3-2 gibt für das gesamte Bundesgebiet einen Überblick über die Anzahl der Messwerte N und die Bereiche der Einzelwerte für wichtige Radionuklide in einigen Milchprodukten.

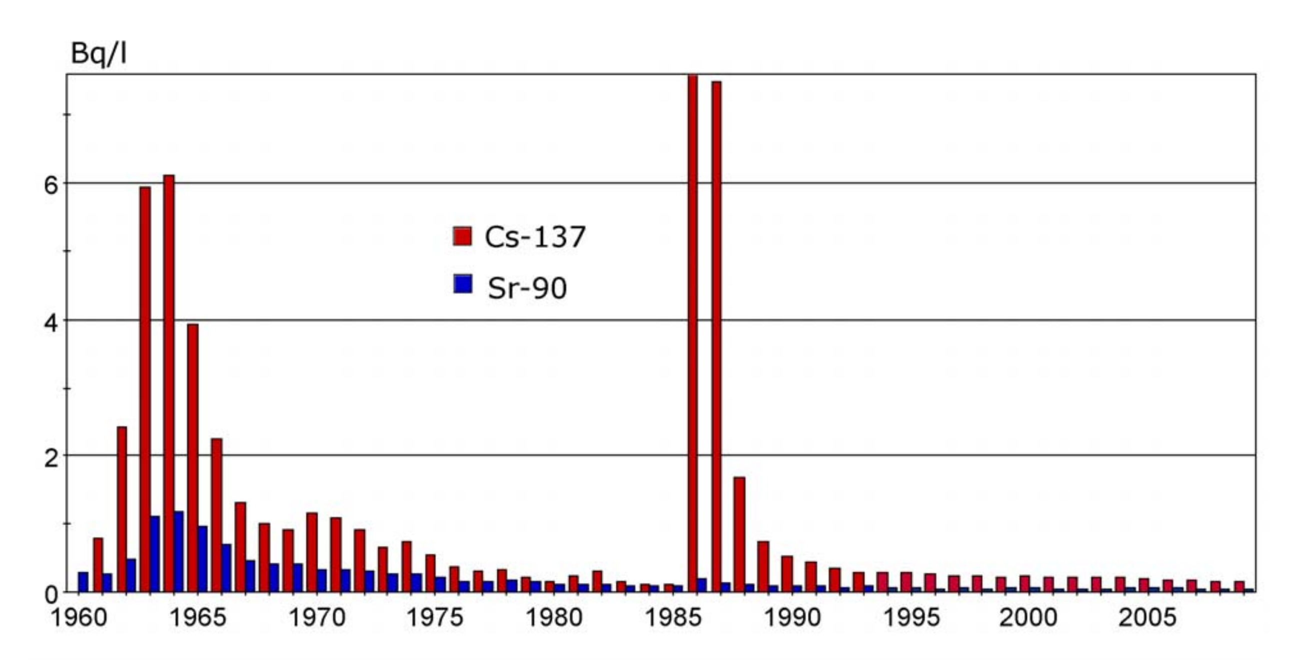


Abbildung 2.4.3-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland

(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

Tabelle 2.4.3-1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2007	30	0,07	81	<0,14
	2008	20	0,06	82	<0,12
	2009	21	0,06 (0,02 - 0,09)	85	<0,12 (<0,01 - 0,55)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Bayern	2007	43	0,05	244	<0,20
	2008	32	0,05	216	<0,17
	2009	33	<0,05 (<0,01 - 0,09)	223	<0,16 (<0,01 - 0,51)
Berlin	2007	12	0,02	25	<0,73
	2008	12	0,02	27	<0,38
	2009	12	0,02 (0,02 - 0,03)	24	<0,59 (0,03 - 3,12)
Brandenburg	2007	16	0,03	53	<0,24
	2008	15	0,03	53	<0,18
	2009	18	0,03 (0,02 - 0,05)	50	<0,23 (<0,05 - 0,8)
Bremen	2007	12	0,02	12	0,69
	2008	12	0,03	12	0,57
	2009	12	0,03 (0,02 - 0,06)	12	0,63 (<0,09 - 1,94)
Hamburg	2007	12	0,02	12	<0,16
	2008	12	0,02	12	<0,06
	2009	12	0,02 (0,01 - 0,03)	12	<0,07 (<0,04 - 0,10)
Hessen	2007	19	0,05	43	<0,07
	2008	19	0,06	50	<0,08
	2009	18	0,05 (0,02 - 0,19)	50	<0,09 (<0,03 - <0,16)
Mecklenburg-Vorpommern	2007	13	0,03	52	<0,19
	2008	12	<0,02	48	<0,13
	2009	12	<0,02 (<0,01 - 0,05)	48	<0,17 (0,05 - 0,92)
Niedersachsen	2007	61	0,03	209	<0,25
	2008	62	0,03	194	<0,21
	2009	46	0,03 (0,01 - 0,09)	190	<0,23 (0,03 - 1,8)
Nordrhein-Westfalen	2007	29	0,04	112	<0,12
	2008	25	0,04	108	<0,12
	2009	18	0,04 (0,02 - 0,08)	107	<0,12 (0,04 - 087)
Rheinland-Pfalz	2007	22	0,04	38	<0,06
	2008	24	<0,03	50	<0,06
	2009	20	0,03 (0,03 - 0,04)	49	<0,06 (0,01 - <0,11)
Saarland	2007	12	<0,03	15	<0,19
	2008	12	<0,05	15	<0,20
	2009	12	<0,04 (<0,02 - 0,10)	17	<0,20 (<0,2 - <0,2)
Sachsen	2007	12	0,03	56	<0,09
	2008	12	0,02	60	<0,10
	2009	12	0,02 (0,02 - 0,04)	60	<0,09 (0,05 - 0,21)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2007	12	<0,02	72	<0,37
	2008	12	<0,02	72	<0,32
	2009	12	<0,02 (<0,01 - 0,04)	72	<0,54 (<0,08 - 4,71)
Schleswig-Holstein	2007	22	0,04	94	<0,13
	2008	16	0,03	88	<0,14
	2009	18	0,03 (0,02 - 0,04)	93	<0,13 (0,09 - 0,33)
Thüringen	2007	12	0,02	36	<0,10
	2008	12	0,02	36	<0,10
	2009	12	0,01 (0,01 - 0,02)	36	<0,10 (<0,07 - <0,11)
Bundesrepublik	2007	339	<0,04	1154	<0,20
(gesamt)	2008	309	<0,03	1123	<0,17
	2009	288	<0,03 (<0,01 - 0,19)	1128	<0,19 (<0,01 - 4,71)

Tabelle 2.4.3-2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten
(Areas of radioactive contamination of milk and milk products)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1128	<0,9*	<0,01	4,71	<0,01
Käse	2	<0,16	<0,12	<0,24	<0,18
Molkeneiweiß	3	<0,18	<0,16	1,1	0,74
Importe					
Käse	65	<0,26	<0,06	0,33	<0,06
Frischkäse	3	<0,11	<0,1	3,0	<0,13
Schafskäse	5	<0,11	<0,04	0,36	<0,09
Lakenkäse	1	<0,13	-	<0,14	-

* Ein Einzelwert < 8 Bq/kg wurde nicht berücksichtigt

2.4.4 Milch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Milk from the surroundings of nuclear facilities)

Wie bei Boden und Bewuchs ist die Situation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt. Die aktuellen Aktivitätskonzentrationen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in Tabelle 2.4.4-1 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit Orten, die nicht in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen, in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.4.4-1 Radioaktive Kontamination der Milch aus unmittelbarer Nähe kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk from the close vicinity of nuclear power plants)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/l			
		2008		2009	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG					
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,04	2	0,02 (0,02 - 0,03)
	Sr-90	2	<0,04	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,06 - <0,06	1	<0,04

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2008		2009	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,14	4	<0,05 (<0,03 - <0,07)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,004 - <0,01	10	<0,005 - <0,009
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,05 (<0,03 - <0,07)
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,007 - <0,009	10	<0,005 - <0,009
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,04	4	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	Sr-90	3	0,03	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,006 - <0,07	11	<0,05 - <0,01
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	7	<0,03	5	<0,03 (0,02 - 0,04)
	Sr-90	5	0,03	5	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,004 - <0,008	11	<0,003 - <0,009
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	<0,04	8	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,02 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	9	<0,007 - <0,01	10	<0,005 - <0,011
BAYERN					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	<0,02	6	0,02 (0,02 - 0,04)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,01 (<0,01 - <0,01)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,008 - <0,01	18	<0,004 - <0,009
KKI Isar	Cs-137	4	0,06	4	0,07 (0,06 - 0,08)
	Sr-90	4	<0,01	4	<0,01 (<0,01 - <0,01)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,008 - <0,009	12	<0,004 - <0,007
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,11	6	<0,14 (<0,06 - <0,19)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,01	18	<0,004 - <0,010
FRM II	Cs-137	2	<0,13	2	<0,11 (<0,04 - 0,18)
	Sr-90	2	<0,02	2	<0,02 (<0,01 - 0,02)
BRANDENBURG					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,10	4	<0,08 (<0,06 - 0,1)
	Sr-90	4	0,02	4	0,01 (0,007 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
HESSEN					
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,09	10	<0,07 (<0,02 - <0,13)
	Sr-90	4	0,02	10	0,02 (0,01 - 0,05)
	I-131 (nur Bereich)	29	<0,004 - <0,011	30	<0,004 - <0,01

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2008		2009	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
MECKLENBURG-VORPOMMERN					
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,10	4	<0,14 (<0,11 - <0,16)
	Sr-90	4	0,02	4	<0,03 (<0,01 - 0,06)
	I-131 (nur Bereich)				
NIEDERSACHSEN					
KKS Stade	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	4	<0,19	4	<0,07 (<0,06 - <0,07)
	Sr-90	4	0,04	4	0,03 (0,03 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,029	12	<0,005 - <0,082
KWG Grohnde	Cs-137	4	<0,08	4	<0,07 (<0,06 - <0,08)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,017	12	<0,006 - <0,018
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,07	4	<0,07 (<0,06 - <0,07)
	Sr-90	4	0,03	4	<0,04 (0,01 - <0,06)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,005 - <0,019	12	<0,005 - <0,019
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	0,44	20	0,25 (0,1 - 0,72)
	Sr-90	12	0,04	8	<0,05 (0,03 - <0,08)
	I-129 (µBq/l)	a		a	
Schacht Konrad II [b]	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
NORDRHEIN-WESTFALEN					
FZ Jülich	Cs-137	4	<0,07	4	<0,07 (<0,06 - <0,08)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,03 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	41	<0,002 - 0,033	40	<0,005 - <0,01
KWW Würgassen	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
THTR Uentrop	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
UAG Gronau	Uran (Bq/l)	12	<0,23	12	<0,23 (<0,23-<0,23)
	Fluor (mq/l)	12	<0,42	12	<0,42 (<0,42-<0,42)
RHEINLAND-PFALZ					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,09	2	<0,09 (<0,08 - <0,1)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2008		2009	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
SACHSEN					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,1	2	<0,09 (<0,09 - <0,1)
	Sr-90	2	0,02	2	0,03 (0,03 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,07 - <0,1	1	<0,084
SACHSEN-ANHALT					
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,21	a	
	Sr-90	a		a	
SCHLESWIG-HOLSTEIN					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,12	4	<0,12 (<0,11 - <0,13)
	Sr-90	4	0,05	4	0,04 (0,03 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,01	12	<0,005 - <0,008
KKB Brunsbüttel	Cs-137	4	<0,05	4	<0,08 (0,04 - 0,14)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,03 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	32	<0,008 - <0,01	32	<0,008 - <0,010
KKK Krümmel	Cs-137	8	<0,009	8	<0,07 (0,04 - 0,15)
	Sr-90	8	0,03	8	0,03 (0,02 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	24	<0,008 - <0,01	24	<0,007 - <0,01
KBR Brokdorf	Cs-137	8	<0,06	8	<0,05 (0,02 - 0,09)
	Sr-90	8	0,03	8	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	24	<0,008 - <0,01	24	<0,008 - <0,010

a Messwerte liegen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

2.4.5 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer
(Fish and seafood and fish from inland water)

Im Folgenden werden Messergebnisse über Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2009 dargestellt. Bei der Auswertung der Daten wird im Allgemeinen nicht zwischen Fischarten unterschieden. Die Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich, wo es nicht ausdrücklich angeführt wird, immer auf die Feuchtmasse (FM). Soweit nicht anders ausgewiesen, werden bei Fischen, Krusten- und Schalentieren die Aktivitätswerte im Fleisch bestimmt. Die statistische Auswertung wird nach dem Verfahren nach „Helsel und Cohn“ [1] unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt. Wegen der im Vergleich zur Normalverteilung oft größeren Ähnlichkeit der gefundenen Verteilungen zu Lognormalverteilungen wurde (ab 1995) der Medianwert als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet. Die hier angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn) unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) liegenden Werte. Ermittelte statistische Kennzahlen sind neben den Anzahlen N und nn der Medianwert, minimaler und maximaler Wert.

Für die Auswertung der Daten aus dem Süßwasserbereich nach dem IMIS-Routinemessprogramm werden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst: Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg zu „Norddeutschland“; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rhein-

land-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen zu „Mitteldeutschland“ sowie Baden-Württemberg und Bayern zu „Süddeutschland“. Für diese Regionen wurden, aufgeteilt nach Gewässertypen, statistische Auswertungen der jährlich zusammengefassten Werte der spezifischen Aktivität von Cs-137 und Sr-90 durchgeführt.

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Binnenseen Nord- und Süddeutschlands (Abbildung 2.4.5-1) waren 2009 nur noch etwa eine halbe Größenordnung höher als die aus Fischteichen und aus Fließgewässern (Tabelle 2.4.5-1).

Tabelle 2.4.5-1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2009)
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2009)
Messungen der Bundesländer

Gewässer	Region	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2009					2008
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Binnenseen	Süddeutschland	26	1	0,11	16	1,2	1,3
	Mitteldeutschland	5	3	< 0,1	157	< 0,2	0,12
	Norddeutschland	56	5	0,12	28	1,5	2,1
Fischteiche	Süddeutschland	14	7	0,11	0,73	0,15	0,14
	Mitteldeutschland	24	10	< 0,1	2,0	0,16	0,12
	Norddeutschland	12	5	< 0,1	1,1	0,21	0,21
Fließgewässer	Süddeutschland	9	3	< 0,1	1,7	0,32	0,20
	Mitteldeutschland	31	18	< 0,1	3,2	0,23	0,17
	Norddeutschland	7	4	< 0,13	1,8	0,35	0,40
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	0	0				< 0,18
	Mitteldeutschland	0	0				0,32
	Norddeutschland	1	0	0,17	0,17	0,17	

Der in der Region „Mitteldeutschland“ berichtete Maximalwert geht auf eine Flussbarschprobe aus dem Arendsee in Sachsen-Anhalt zurück, während die anderen Werte unter 0,23 Bq/kg FM lagen. Die Ergebnisse der Messungen von Fischen aus Seen in diesem Gebiet Sachsen-Anhalts, die ab 2007 begonnen wurden und höhere Cs-137-Werte zeigten, wurden im entsprechenden Kapitel des Jahresberichts des Jahres 2008 [2] bereits erörtert und bewertet.

Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abbildung 2.4.5-2), was vermutlich darauf zurückzuführen war, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet wurden.

Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Fischproben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abbildung 2.4.5-2 und 2.4.5-3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2.4.5-2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass bis 1999 (vgl. Abbildung 2.4.5-4) Forellen niedriger kontaminiert waren als Karpfen, ab 2000 jedoch ist der Unterschied nicht mehr signifikant.

Tabelle 2.4.5-2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2009)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2009)
Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

Fisch	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2009					2008
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Forellen	31	16	< 0,1	0,73	0,14	0,14
Karpfen	25	13	< 0,1	4,8	0,09	0,14

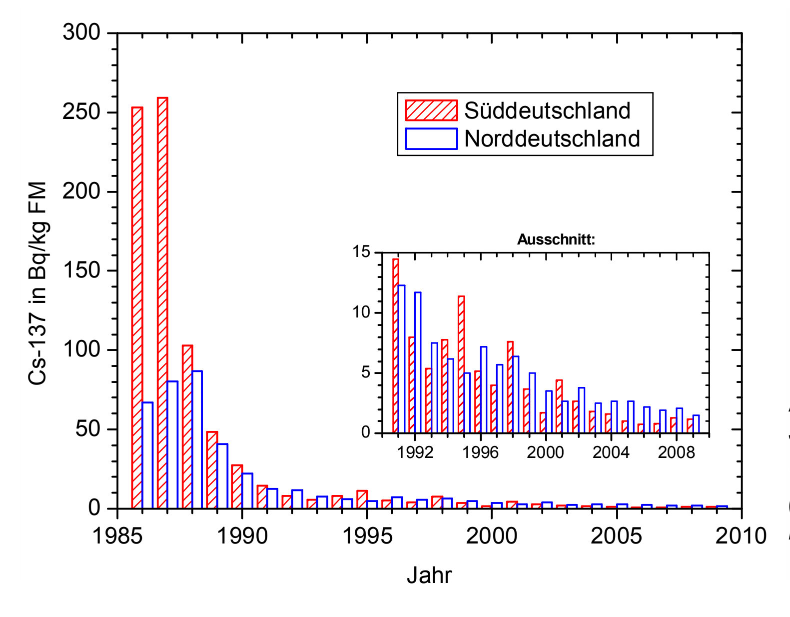


Abbildung 2.4.5-1
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

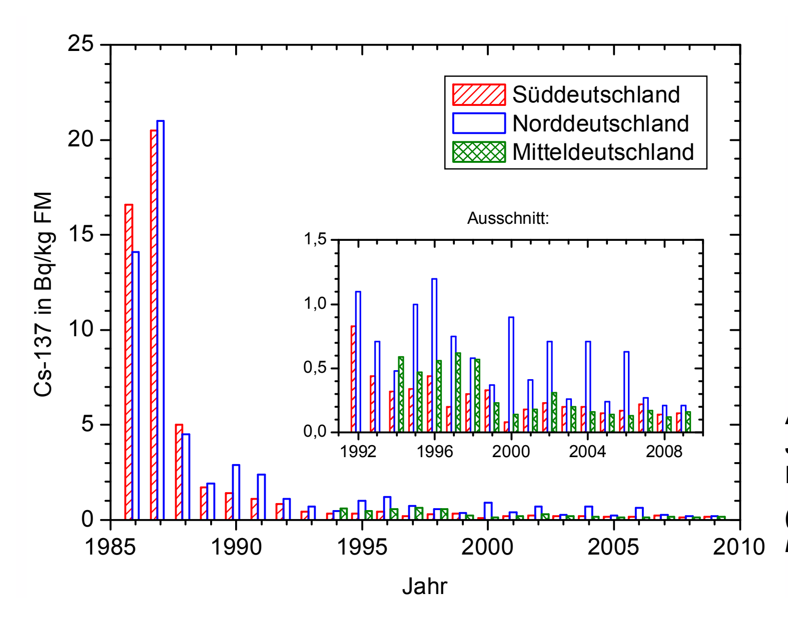


Abbildung 2.4.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

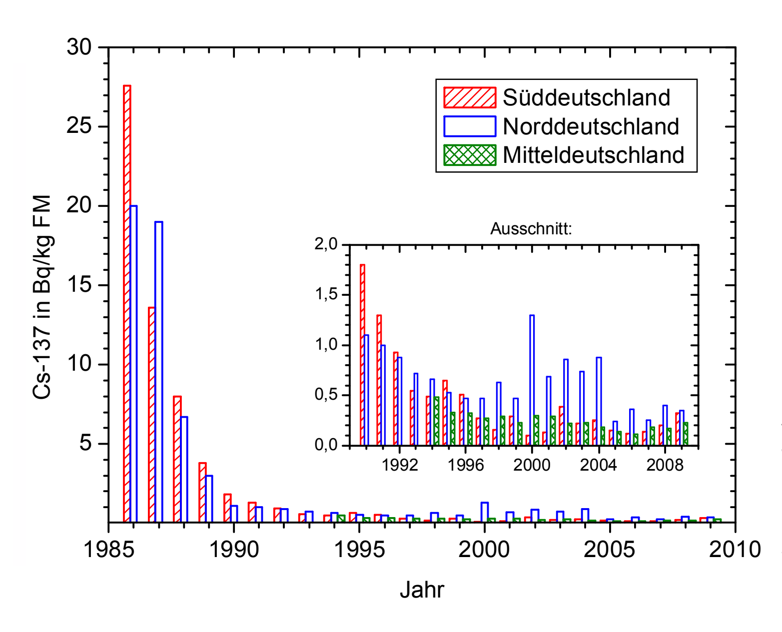


Abbildung 2.4.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

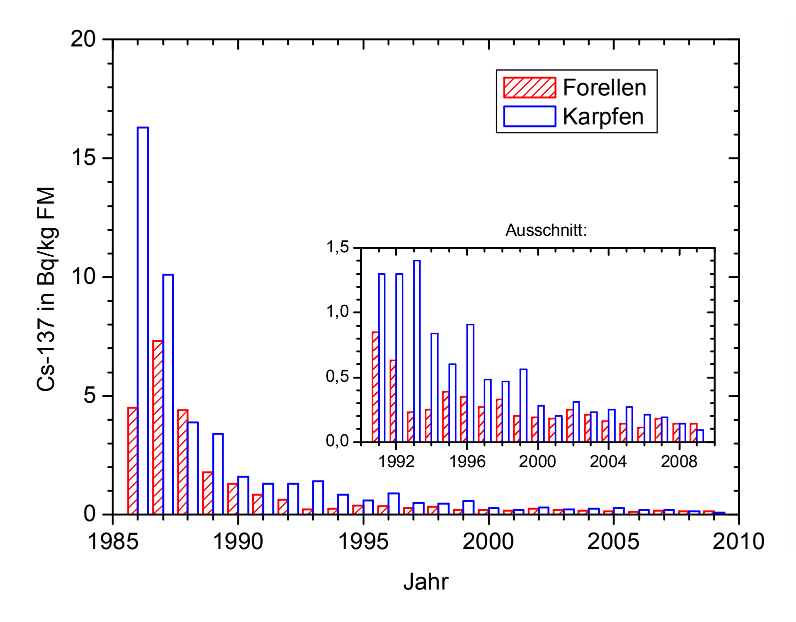


Abbildung 2.4.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in trout and carp in Bq/kg WW)

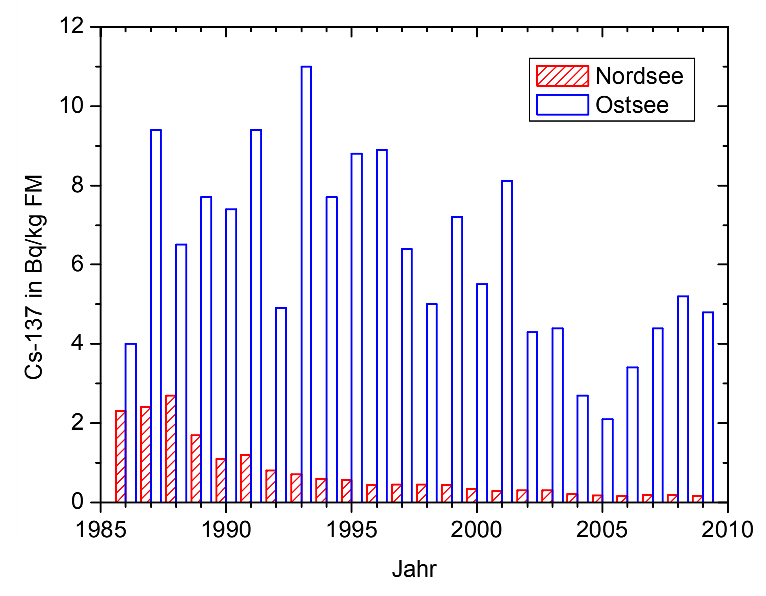


Abbildung 2.4.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

In Tabelle 2.4.5-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2009 die Cs-137-Werte bis auf eine Probe unter 0,5 Bq/kg. Der Median liegt bei etwa 0,16 Bq/kg, ähnlich wie im Vorjahr. Der höhere Wert von 8,4 Bq/kg ist vermutlich eher der Ostsee bzw. dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee zuzurechnen.

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zur mittleren Cs-137-Aktivität schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig die Cs-137-Aktivität im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abbildung 2.4.5-5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben mit höherer Cs-137-Aktivität aus der östlichen Ostsee von Jahr zu Jahr schwanken kann.

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelen- und Miesmuschelfleisch wiesen eine mittlere Cs-137-Aktivität von weniger als 0,15 Bq/kg auf; vgl. Tabelle 2.4.5-3. Nahezu alle Einzelwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die im Jahr 2009 für Proben aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tabelle 2.4.5-4) lagen bei etwa 0,056 Bq/kg (Süßwasserfisch), 0,1 Bq/kg (Seefisch) und 0,045 Bq/kg (Fischereierzeugnisse); für Krusten- und Schalentiere wurden keine signifikanten Werte gefunden.

Tabelle 2.4.5-3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2009)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2009)
Messungen der Bundesländer und der Leitstelle

Gewässer	Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2009					2008
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Nordsee	Fische	28	5	0,073	8,4	0,16	0,19
	Garnelen	14	14	< 0,11	< 0,18	< 0,15	< 0,13
	Miesmuscheln	11	10	< 0,11	0,22	< 0,13	< 0,14
Ostsee	Fische	44	0	0,18	10	4,8	5,2

Tabelle 2.4.5-4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (2009)
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2009)

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2009					2008
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Süßwasserfisch	47	33	< 0,1	3,7	0,056	0,095
Seefisch	111	50	0,036	8,4	0,11	0,10
Krusten- u. Schalentiere	14	14	< 0,1	< 0,18	< 0,11	< 0,14
Fischereierzeugnisse	18	15	< 0,1	0,28	0,045	0,042

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Sr-90-Analysen sind in Tabelle 2.4.5-5 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, dass die Sr-90-Aktivität bei Binnenseen etwa eine halbe Größenordnung höher war als bei Fließgewässern und Fischteichen. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass schon leichte Änderungen der geringen Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischfleischproben eine merkliche Änderung der gemessenen Sr-90-Konzentration bewirken können. Für Fische aus Nord- und Ostsee lagen für 2009 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Messungen der Leitstelle vor.

Tabelle 2.4.5-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2009)
(Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2009)
Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	spez. Sr-90-Aktivität in Bq/kg FM					
		2009					2008
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch	Binnenseen	14	6	< 0,0083	0,20	0,017	0,066
	Fischteiche	5	2	< 0,0045	0,077	0,012	0,018
	Fließgewässer	7	5	< 0,0052	0,014	0,0059	0,0076
Garnelen	Nordsee	12	7	< 0,020	0,031	0,018	0,017
Miesmuscheln	Nordsee	11	7	< 0,020	0,074	0,011	< 0,02

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus der Nordsee und der Ostsee wurden während der Fahrten mit dem FFS „Walther-Herwig-III“ genommen. Die gammaspektrometrischen Messungen des größeren Teils der Proben aus dem Berichtsjahr 2009 wurden in die obigen Auswertungen bereits einbezogen.

Zusammen mit den für frühere Jahre nachzureichenden Messwerten, insbesondere von Sr-90-Analysen, sind diese in der Tabelle 2.4.5-6 summarisch dargestellt, unterschieden zwischen Fischfleisch- und Gesamtfischproben. Diese Tabelle enthält auch Proben, die bei zusätzlichen Fahrten in den Finnischen Meerbusen (2009) und in den Atlantik nahe der Südküste von Island (2008) genommen wurden. Die auf Island bezogenen Werte können als Hintergrundwerte des Nordostatlantiks betrachtet werden. Die Nordsee-Werte sind denen aus dem Bereich Island sehr nahe; dies ist ein Hinweis darauf, dass der Effekt der Aktivitäts-Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield (UK, Irische See) und La Hague (FR, Engl. Kanal) auf die Nordseefische, verglichen mit den 1980er und 1990er Jahren, erheblich abgenommen hat und mittlerweile sehr gering geworden ist. Die Proben aus dem Finnischen Meerbusen bestanden über-

wiegend aus kleinen Tieren, so dass sie nur als Gesamtfischproben analysiert wurden. Hierfür wurden Cs-137-Werte zwischen 3,7 und 6,4 Bq/kg gefunden, also insgesamt geringfügig höhere Werte im Vergleich zur südlichen und westlichen Ostsee (1,0 bis 4,4 Bq/kg). Die zwei Maximalwerte von 10 und 14 Bq/kg gehören zu Fischproben, die in der östlichen Ostsee bei etwa 16,4 °Ost gefangen wurden.

Tabelle 2.4.5-6 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen aus verschiedenen Meeresgebieten inkl. Nachtrag zu früheren Jahren
(Specific radionuclide activities fish from different marine areas incl. Supplement to earlier years)
Ergebnisse von „Walther-Herwig-III“-Fahrten in den Jahren 2006 bis 2009; Messungen der Leitstelle

Meer / Probe	Radio-nuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert
					Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Island, Nähe Südküste							
Fischfleisch	Cs-137	2008	5	0	0,098	0,18	0,13
	Sr-90	2008	3	3	< 0,00055	< 0,0024	< 0,0006
Nordsee							
Fischfleisch	Cs-137	2008	11	0	0,10	0,36	0,19
	Sr-90	2006	3	0	0,00076	0,0013	0,00081
		2007	5	0	0,00066	0,00098	0,00090
		2008	6	2	0,00043	< 0,0013	0,00044
Gesamtfisch	Cs-137	2008	8	0	0,11	0,31	0,24
		2009	5	0	0,073	0,21	0,13
	Sr-90	2006	9	0	0,0020	0,015	0,0027
		2007	5	1	0,0013	0,011	0,0018
		2008	5	1	0,0023	0,012	0,0028
Ostsee; südliche und westliche							
Fischfleisch	Cs-137	2008	16	0	1,2	14	5,4
		2009	10	0	3,7	10	6,7
	Sr-90	2006	6	0	0,0021	0,016	0,0044
		2007	10	0	0,0012	0,024	0,0018
		2008	6	3	0,00059	0,020	0,0012
Gesamtfisch	Cs-137	2008	8	0	1,0	5,2	3,3
		2009	11	0	1,0	4,8	4,4
	Sr-90	2006	3	0	0,015	0,043	0,02
		2007	5	0	0,0067	0,026	0,014
		2008	3	0	0,013	0,015	0,014
Golf v. Finnland							
Gesamtfisch	Cs-137	2009	18	0	3,7	6,4	5,1
	Sr-90	2009	2	0	0,022	0,024	0,023

Literatur

[1] Kanisch, G., Kirchhoff, K., Michel, R., Rühle, H., Wiechen, A.: „Genauigkeit von Messwerten, Empfehlungen zur Dokumentation“. Kapitel IV.4. In: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Stand: 1.10.2000. Urban & Fischer Verlag München, Jena, ISBN 3-437-21596-5

[2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2008: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2007“.

2.4.6 Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Fish and aquatic plants from the surroundings of nuclear facilities)

Im Berichtsjahr 2009 wurden für 24 kerntechnische Anlagen Werte γ-spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 91 Fischfleischproben und 9 Wasserpflanzenproben gemeldet; Sr-90-Messungen wurden an 14 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 17 Süßwasserfischarten, von Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“, 4 marine Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie Fische ohne Artenbezeichnung untersucht wurden. Die Wasserpflanzen wurden nicht spezifiziert. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im vorangehenden Kapitel 2.4.5 beschrieben durchgeführt. Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 2.4.6-1 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengefasst worden.

Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Werte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht aus einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Ellbogensee) entnommen wurden. Bedingt durch den Ostsee-Einfluss im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommenen Proben ebenfalls höhere Cs-137-Gehalte auf.

Bei den wenigen in Tabelle 2.4.6-1 mit aufgenommenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche Radionuklide dienen, insbesondere aus genehmigten Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen (z. B. I-131), sind keine Besonderheiten festzustellen.

Tabelle 2.4.6-1 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 2009 (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2009 - within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities)

(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG)

Gewässer	Anlage	Radionuklid	2009					2008
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	6	2	< 0,14	0,32	0,23	0,13
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,17	0,34	0,21	0,21
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,19	0,28	0,23	0,17
	PKA Gorleben	Cs-137	5	0	0,12	0,50	0,21	0,36
	KKS Stade	Cs-137	2	0	0,49	0,50	0,50	0,30
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	6	< 0,0086	< 0,012	< 0,011	< 0,014
		Cs-137	6	0	0,07	0,7	0,29	0,36
	KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	1	6	0	0,16	0,37
Ems	KKE Emsland	Cs-137	7	0	2	0	0,22	0,45
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	4	0	4	0	0,76	1,9
		Co-60	4	3	< 0,084	0,087	< 0,087	
Havel (Griebnitzsee)	HMI Berlin	Cs-137						0,43
Sacrower See		Cs-137						33
Großer Wannsee		Cs-137						0,76
Isar	KKI 1/2 Isar FRM II Garching	Cs-137 Cs-137	4 1	0 0	0,18 0,55	0,60 0,55	0,25 0,55	0,17 0,43
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	4	< 0,16	< 0,30	< 0,17	< 0,19
	VAK Kahl	Cs-137						
Mosel	Cattenom (Frankreich)	Sr-90 Cs-137	3 3	2 1	< 0,02 < 0,07	0,030 0,10	< 0,02 0,088	< 0,034 < 0,11
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	1	0,050	<0,078	<0,078	0,067
	KWO Obrigheim	Cs-137	2	1	0,068	<0,092	< 0,092	< 0,11

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2009					2008
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Median-wert	Medianwert
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,094	0,14	0,12	0,093
	KWB Biblis	Sr-90	5	0	0,012	0,017	0,014	0,042
		Cs-137	8	2	0,069	0,15	0,091	0,13
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	0	0,073	0,15	0,12	0,14
	KKP Philippsburg	Cs-137	4	1	< 0,11	0,30	0,13	0,11
	FZ Karlsruhe	Cs-137						
Rur	FZ Jülich	Cs-137	3	0	0,28	2,4	0,37	0,24
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	39	41	40	62
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	10	14	12	8,2
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,13	0,19	0,15	0,12
	KWG Grohnde	Cs-137	3	0	0,041	0,11	0,072	0,047
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,29
		Cs-137	1	0	0,56	0,56	0,56	
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1	< 0,23	< 0,23	< 0,23	< 0,38
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	2	0	1,5	2,1	1,8	6,2
		Co-60	2	2	< 0,26	< 0,41	< 0,34	< 3,6
Isar	FRM II Garching	Co-60	2	2	< 0,4	< 0,65	< 0,53	< 2,3
		I-131	2	0	11	32	22	144
		Cs-137	2	0	6,6	8,5	7,6	8,4
	KKI 1/2 Isar	I-131	1	0	23	23	23	29
		Cs-137	1	0	14	14	14	7,0
Main	KKG Grafenrheinfeld	Co-60	2	0	0,47	1,2	0,84	
		I-131	1	0	1,0	1,0	1,0	
		Cs-137	2	0	0,64	1,1	0,87	< 0,30

2.4.7 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte Cs-137 in Nahrungsmitteln führt auch im Berichtsjahr zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen (siehe Tabellen 2.4.7-1 bis 2.4.7-14). Im Vergleich zu den Vorjahren vermindert sich die Aktivitätskonzentration von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit war Cs-134 nicht mehr nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befindet sich ebenfalls die Sr-90-Aktivitätskonzentration.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten (Tabelle 2.4.7-8), Speisepilze (Tabelle 2.4.7-11) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tabelle 2.4.7-12) und Blütenhonig (Tabelle 2.4.7-13). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden.

In den Tabellen sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte aufgeführt. Bei den Messwerten fehlen in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keine Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen "<" gekennzeichneten sind, die Realität, weil in der Berechnung zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Aus diesen Gründen beinhaltet der gebildete Mittelwert einige Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Jahresmittelwerte berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 2.4.7-1 Weizen, Inland
(Wheat, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2008	32	< 0,14 (< 0,05 - 0,57)	7	0,16 (0,11 - 0,25)
	2009	28	< 0,13 (< 0,04 - < 0,27)	5	0,35 (0,07 - 1,29)
Bayern	2008	49	< 0,16 (< 0,06 - < 0,25)	8	0,25 (0,09 - 0,37)
	2009	43	< 0,17 (< 0,08 - < 0,36)	9	0,19 (0,12 - 0,28)
Berlin	2008	1	< 0,12	1	0,1
	2009	2	< 0,13 (< 0,09 - < 0,16)	1	0,16
Brandenburg	2008	23	< 0,13 (< 0,05 - 0,30)	2	0,14 (0,09 - 0,18)
	2009	22	< 0,13 (< 0,07 - 0,40)	1	0,24
Bremen	2008	3	< 0,06 (< 0,06 - < 0,06)		
	2009	3	< 0,06 (< 0,04 - < 0,09)		
Hamburg	2008	4	< 0,07 (< 0,06 - 0,10)	1	0,1
	2009	2	< 0,08 (< 0,07 - 0,08)	1	0,08
Hessen	2008	16	< 0,11 (< 0,05 - < 0,17)		
	2009	17	< 0,10 (< 0,06 - < 0,15)		
Mecklenburg-Vorpommern	2008	34	< 0,12 (0,05 - < 0,15)	2	0,15 (0,12 - 0,18)
	2009	36	< 0,13 (< 0,09 - 0,66)	2	0,15 (0,12 - 0,18)
Niedersachsen	2008	42	< 0,24 (< 0,09 - 1,20)	3	0,13 (0,06 - 0,22)
	2009	49	< 0,19 (< 0,10 - 0,54)	3	< 0,08 (< 0,02 - 0,15)
Nordrhein-Westfalen	2008	25	< 0,11 (< 0,03 - 0,26)	3	0,14 (0,07 - 0,20)
	2009	30	< 0,11 (< 0,03 - < 0,20)	4	0,10 (0,03 - 0,23)
Rheinland-Pfalz	2008	21	< 0,12 (< 0,04 - < 0,50)	4	0,06 (0,02 - 0,08)
	2009	20	< 0,10 (< 0,04 - < 0,14)	3	0,08 (0,05 - 0,09)
Saarland	2008	3	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	1	0,13
	2009	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	1	0,13
Sachsen	2008	30	< 0,11 (< 0,08 - < 0,14)	3	0,10 (0,07 - 0,14)
	2009	31	< 0,10 (< 0,08 - < 0,16)	3	0,14 (0,11 - 0,18)
Sachsen-Anhalt	2008	31	< 0,13 (< 0,10 - 0,30)	3	0,15 (0,04 - 0,28)
	2009	31	< 0,13 (< 0,06 - < 0,19)	3	0,17 (0,08 - 0,29)
Schleswig-Holstein	2008	33	< 0,14 (0,08 - < 0,19)	4	0,12 (0,08 - 0,22)
	2009	32	< 0,14 (< 0,08 - < 0,17)	3	0,11 (0,09 - 0,14)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Thüringen	2008	34	< 0,12	(< 0,10 - < 0,14)	1	0,08	
	2009	34	< 0,12	(< 0,09 - < 0,14)	1	0,06	
Bundesrepublik	2008	381	< 0,14	(< 0,03 - 1,20)	43	0,15	(0,02 - 0,37)
(gesamt)	2009	382	< 0,14	(< 0,03 - 0,66)	40	< 0,16	(< 0,02 - 1,29)

Tabelle 2.4.7-2 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	2009	1	< 0,08
Estland	2009	1	< 0,01
Frankreich	2008	1	< 0,20
	2009	1	< 0,20
Kanada	2009	1	< 0,07
Polen	2009	1	< 0,09
Rumänien	2009	1	< 0,20
Tschechische Republik	2008	2	< 0,13 (< 0,11 - < 0,15)
	2009	4	< 0,09 (0,05 - < 0,12)

Tabelle 2.4.7-3 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)					Sr-90 (Bq/kg FM)				
		N	Mittelwert (Bereich)				N	Mittelwert (Bereich)			
Buchweizen	2008	1	0,08				-				
	2009	1	< 0,17				-				
Gerste	2008	105	< 0,17	(< 0,03	-	1,20)	5	0,26	(0,10	-	0,54)
	2009	106	< 0,15	(< 0,03	-	0,72)	7	0,15	(0,06	-	0,25)
Hafer											
	2008	23	< 0,43	(< 0,10	-	1,90)	2	0,20	(0,19	-	0,20)
	2009	24	< 0,34	(< 0,08	-	3,42)	1	0,12			
Hirse											
	2008	12	< 0,11	(< 0,06	-	< 0,21)	-				
Mais	2009	6	< 0,10	(< 0,09	-	< 0,11)	-				
	2008	3	< 0,13	(< 0,06	-	< 0,21)	-				
Reis	2009	3	< 0,09	(< 0,08	-	< 0,10)	-				
Roggen	2008	8	< 0,15	(< 0,08	-	< 0,28)	-				
	2009	9	< 0,11	(< 0,08	-	< 0.16)	-				

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)					Sr-90 (Bq/kg FM)				
		N	Mittelwert (Bereich)				N	Mittelwert (Bereich)			
Triticalen	2008	142	< 0,17	(< 0,05	-	0,97)	9	0,19	(0,10	-	0,31)
	2009	160	< 0,18	(< 0,05	-	1,92)	15	0,13	(0,04	-	0,30)

\- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-4 Kalbfleisch, Inland
(Veal, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2008	6	< 0,85	(< 0,23 - 2,28)
	2009	6	< 0,32	(< 0,11 - < 0,56)
Bayern	2008	7	< 1,70	(< 0,24 - 5,21)
	2009	8	< 0,30	(< 0,13 - 0,74)
Berlin	2008	1	0,68	
	2009			
Brandenburg	2008	3	1,83	(0,38 - 2,90)
	2009	5	4,42	(1,00 - 13,00)
Bremen	2008	3	0,69	(0,49 - 1,08)
	2009	3	0,43	(0,26 - 0,61)
Hamburg	2008	3	0,26	(0,15 - 0,34)
	2009	3	0,91	(0,71 - 1,06)
Hessen	2008	3	< 0,13	(< 0,12 - < 0,13)
	2009	3	0,50	(0,15 - 1,15)
Mecklenburg-Vorpommern	2008	6	10,30	(0,37 - 29,20)
	2009	3	0,24	(0,12 - 0,31)
Niedersachsen	2008	11	< 0,42	(0,10 - 1,40)
	2009	11	< 1,29	(< 0,18 - 4,90)
Nordrhein-Westfalen	2008	16	< 0,41	(< 0,05 - 1,44)
	2009	16	< 0,28	(< 0,06 - 0,64)
Rheinland-Pfalz	2008	1	0,65	
	2009			
Saarland	2008	2	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
	2009	4	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2008	3	< 0,28	(< 0,15 - 0,37)
	2009	3	< 0,29	(< 0,15 - 0,41)
Sachsen-Anhalt	2008	3	0,57	(0,41 - 0,74)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
	2009	3	0,64 (0,56 - 0,70)
Schleswig-Holstein	2008	3	< 0,61 (< 0,10 - 1,06)
	2009	3	< 0,25 (< 0,14 - 0,45)
Thüringen	2008	1	0,28
	2009	1	0,37
Bundesrepublik	2008	72	< 1,46 (< 0,05 - 29,20)
(gesamt)	2009	72	< 0,78 (< 0,06 - 13,00)

Tabelle 2.4.7-5 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2008	45	< 0,34 (< 0,10 - 4,20)
	2009	44	< 0,27 (< 0,09 - 1,29)
Bayern	2008	92	< 0,71 (< 0,07 - 9,60)
	2009	92	< 0,52 (0,09 - 6,50)
Berlin	2008	6	1,35 (0,17 - 2,91)
	2009	6	< 1,71 (< 0,20 - 4,61)
Brandenburg	2008	8	0,55 (0,20 - 1,10)
	2009	12	< 0,61 (< 0,09 - 3,20)
Bremen	2008	5	2,01 (0,05 - 5,55)
	2009	6	< 0,65 (< 0,19 - 1,49)
Hamburg			
	2008	6	< 0,36 (< 0,06 - 0,89)
	2009	6	1,50 (0,07 - 5,03)
Hessen			
	2008	12	< 0,14 (< 0,11 - 0,18)
	2009	72	< 0,25 (< 0,09 - 1,32)
Mecklenburg-Vorpommern			
	2008	14	1,72 (0,03 - 7,99)
	2009	15	0,94 (0,08 - 3,17)
Niedersachsen			
	2008	49	< 0,88 (< 0,12 - 5,70)
	2009	46	< 1,00 (< 0,06 - 10,10)
Nordrhein-Westfalen			
	2008	54	< 0,35 (< 0,05 - 4,33)
	2009	53	< 0,25 (< 0,05 - 4,80)
Rheinland-Pfalz			
	2008	11	< 0,11 (< 0,07 - 0,22)
	2009	14	< 0,17 (< 0,08 - 0,52)
Saarland			

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
	2008	6	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2009	6	< 0,30 (< 0,20 - 0,80)
Sachsen			
	2008	12	< 0,31 (0,10 - 1,01)
	2009	11	< 0,18 (0,07 - 0,58)
Sachsen-Anhalt			
	2008	10	1,05 (0,17 - 2,49)
	2009	9	< 0,82 (< 0,11 - 2,75)
Schleswig-Holstein			
	2008	26	< 0,70 (< 0,11 - 3,13)
	2009	26	< 0,50 (0,11 - 2,16)
Thüringen			
	2008	11	< 0,57 (< 0,10 - 5,20)
	2009	10	< 0,12 (< 0,10 - < 0,16)
Bundesrepublik (gesamt)	2008	367	< 0,64 (0,03 - 9,60)
	2009	428	<0,49 (< 0,05 - 10,10)

Tabelle 2.4.7-6 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2008	26	< 0,18 (< 0,10 - < 0,49)
	2009	24	< 0,29 (< 0,11 - 3,17)
Bayern	2008	42	< 0,40 (< 0,07 - 8,83)
	2009	43	< 0,28 (< 0,08 - 2,85)
Berlin	2008	6	< 0,13 (0,08 - < 0,17)
	2009	6	< 0,42 (< 0,08 - 1,05)
Brandenburg	2008	13	< 0,32 (< 0,05 - 2,50)
	2009	14	< 0,11 (< 0,07 - 0,20)
Bremen	2008	9	< 0,12 (0,05 - 0,19)
	2009	8	< 0,18 (0,13 - 0,26)
Hamburg	2008	6	0,11 (0,07 - 0,17)
	2009	6	< 0,11 (0,07 - 0,19)
Hessen	2008	12	< 0,12 (< 0,08 - < 0,17)
	2009	12	< 0,14 (< 0,10 - < 0,21)
Mecklenburg-Vorpommern	2008	19	< 0,14 (0,04 - 0,39)
	2009	18	< 0,15 (0,05 - 0,77)
Niedersachsen	2008	63	< 0,22 (< 0,08 - 1,30)
	2009	68	< 0,43 (< 0,08 - < 16,00)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Nordrhein-Westfalen	2008	87	< 0,14 (< 0,05 - 0,60)
	2009	94	< 0,13 (< 0,04 - 0,47)
Rheinland-Pfalz	2008	11	< 0,12 (< 0,09 - 0,15)
	2009	14	< 0,10 (0,06 - 0,13)
Saarland	2008	6	< 0,53 (< 0,20 - 2,20)
	2009	6	< 0,17 (< 0,00 - < 0,20)
Sachsen	2008	11	< 0,13 (0,09 - 0,22)
	2009	11	< 0,12 (0,09 - < 0,14)
Sachsen-Anhalt	2008	24	< 0,11 (< 0,06 - 0,17)
	2009	24	< 0,13 (< 0,09 - 0,22)
Schleswig-Holstein	2008	12	< 0,18 (< 0,14 - 0,28)
	2009	12	< 0,18 (0,11 - 0,53)
Thüringen	2008	14	< 0,12 (< 0,09 - 0,22)
	2009	14	< 0,13 (< 0,09 - 0,36)
Bundesrepublik	2008	361	< 0,19 (0,04 - 8,83)
(gesamt)	2009	374	< 0,22 (< 0,00 - 16,0)

Tabelle 2.4.7-7 Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr
(Other meat, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Hauskaninchen	2009	1	< 0,11
Lamm	2008	18	< 0,32 (< 0,05 - 3,15)
	2009	19	< 0,24 (< 0,07 - 1,20)
Geflügel			
Ente	2008	23	< 0,14 (< 0,02 - < 0,21)
	2009	14	< 0,15 (< 0,07 - < 0,28)
Gans	2008	18	< 0,16 (< 0,07 - 0,42)
	2009	16	< 0,18 (< 0,05 - 0,39)
Huhn	2008	120	< 0,14 (< 0,03 - 0,82)
	2009	118	< 0,15 (0,04 - < 0,32)
Pute	2008	39	< 0,19 (< 0,05 - < 2,25)
	2009	50	< 0,13 (< 0,05 - < 0,24)
Taube	2009	1	< 0,16

Tabelle 2.4.7-8 **Wild, Inland und Einfuhr**
(Game, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)				
		N	Mittelwert (Bereich)			
Federwild	2008	1	0,15			
	2009	1	< 0,08			
Haarwildfleisch						
Elch	2009	1	170			
Hase	2009	2	< 0,22	(< 0,09	-	0,36)
Hirsch	2008	21	< 13,9	(< 0,05	-	102)
	2009	21	< 10,0	(< 0,11	-	66,0)
Känguruh	2009	1	< 0,11			
Reh	2008	97	< 18,0	(< 0,12	-	212)
	2009	130	< 21,2	(< 0,08	-	342)
Ren	2009	1	27,3			
Rot-/Damwild	2008	4	4,08	(0,16	-	13,5)
	2009	16	15,0	(1,0	-	118)
Wildschwein	2008	180	< 127	(< 0,14	-	5106)
	2009	76	< 98,9	(< 0,05	-	1721)

Tabelle 2.4.7-9 **Kartoffeln, Inland**
(Potatoes, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2008	8	< 0,15	(< 0,06 - 0,30)	1	0,02	
	2009	8	< 0,12	(< 0,04 - < 0,17)	1	0,04	
Bayern	2008	34	< 0,18	(< 0,09 - 0,29)	4	0,04	(0,03 - 0,04)
	2009	32	< 0,18	(< 0,09 - 0,42)	4	< 0,04	(< 0,01 - 0,06)
Berlin	2008	4	< 0,10	(< 0,06 - 0,18)	2	0,01	(0,01 - 0,02)
	2009	3	< 0,12	(< 0,08 - 0,16)	1	0,03	
Brandenburg	2008	7	< 0,13	(< 0,09 - < 0,17)	1	0,02	
	2009	7	< 0,12	(< 0,09 - < 0,17)	1	< 0,02	
Bremen	2008	2	< 0,10	(< 0,10 - < 0,10)			
	2009	2	< 0,07	(< 0,05 - < 0,09)			
Hamburg	2008	2	< 0,08	(< 0,07 - 0,09)			
	2009	2	< 0,10	(< 0,09 - < 0,11)			

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Hessen	2008	5	< 0,14 (< 0,12 - < 0,18)	1	0,04
	2009	5	< 0,10 (< 0,09 - < 0,13)	1	0,04
Mecklenburg-Vorpommern	2008	11	< 0,10 (0,05 - 0,17)	1	0,01
	2009	11	< 0,08 (< 0,06 - < 0,10)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Niedersachsen	2008	58	< 0,16 (< 0,05 - 0,43)	6	< 0,02 (< 0,01 - 0,02)
	2009	59	< 0,21 (< 0,06 - 1,00)	16	< 0,08 (0,01 - 0,50)
Nordrhein-Westfalen	2008	17	< 0,12 (< 0,06 - < 0,19)	4	0,02 (0,01 - 0,04)
	2009	18	< 0,14 (< 0,05 - < 0,23)	5	< 0,04 (0,00 - 0,11)
Rheinland-Pfalz	2008	6	< 0,07 (< 0,03 - < 0,10)	3	0,02 (0,01 - 0,03)
	2009	5	< 0,07 (< 0,03 - < 0,10)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Saarland	2008	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
	2009	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
Sachsen	2008	6	< 0,10 (< 0,08 - < 0,14)	1	0,01
	2009	6	< 0,09 (< 0,07 - < 0,12)	1	0,02
Sachsen-Anhalt	2008	9	< 0,14 (< 0,11 - < 0,19)	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)
	2009	9	< 0,12 (< 0,10 - 0,16)	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)
Schleswig-Holstein	2008	5	< 0,13 (< 0,08 - < 0,17)	1	< 0,04
	2009	5	< 0,13 (< 0,10 - < 0,17)	1	< 0,04
Thüringen	2008	3	< 0,11 (< 0,09 - < 0,12)	1	0,01
	2009	3	< 0,10 (< 0,08 - < 0,12)	1	0,01
Bundesrepublik (gesamt)	2008	179	< 0,14 (< 0,03 - 0,43)	28	< 0,02 (0,01 - 0,04)
	2009	177	< 0,16 (< 0,03 - 1,00)	38	< 0,05 (0,00 - 0,50)

\- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	2008	736	< 0,17 (< 0,02 - 0,68)	72	< 0,15 (0,01 - 0,83)
	2009	685	< 0,15 (< 0,02 - 6,30)	71	< 0,13 (0,01 - 0,81)
Fruchtgemüse	2008	197	< 0,14 (< 0,03 - 1,50)	11	0,07 (0,01 - 0,13)
	2009	217	< 0,19 (< 0,03 - 12)	15	< 0,04 (< 0,01 - 0,16)
Sprossgemüse	2008	245	< 0,13 (< 0,03 - 0,68)	18	< 0,05 (0,01 - 0,18)
	2009	246	< 0,13 (0,04 - 0,46)	20	< 0,06 (0,01 - 0,33)
Wurzelgemüse	2008	183	< 0,15 (< 0,03 - 2,10)	18	0,10 (0,03 - 0,29)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	2009	183	< 0,14 (< 0,03 - < 0,39)	18	0,11 (0,01 - 0,36)

Tabelle 2.4.7-11 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2008	6	< 0,19 (< 0,14 - < 0,25)
	2009	2	< 0,17 (< 0,15 - < 0,19)
Wild-Blätterpilze	2008	30	< 44,3 (<0,09 - 426)
	2009	60	< 18,5 (<0,11 - 215)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze	2008	39	< 109 (<0,33 - 762)
	2009	20	< 49 (<0,20 - 382)
Wild-Röhrenpilze	2008	59	< 128 (< 0,14 - 918)
	2009	73	177 (0,90 - 1384)
Sonstige Wildpilze	2008	9	< 4,63 (<0,20 - 139)
	2009	10	< 19,8 (0,19 - 74,7)
Wildpilzmischungen	2008	4	21,4 (3,44 - 40,8)
	2009	13	< 138 (<0,13 - 939)
Wildpilzprodukte	2008	6	< 27,3 (<0,11 - 105)
	2009	6	< 6,9 (<0,20 - 40,5)

Tabelle 2.4.7-12 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(Fruit and rhubarb, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Beerenobst					
Brombeere/Himbeere	2008	12	< 0,16 (< 0,09 - < 0,31)	-	
	2009	9	< 0,11 (< 0,07 - < 0,20)	1	0,07
Erdbeeren	2008	98	< 0,13 (< 0,03 - 0,53)	10	0,06 (0,01 - 0,12)
	2009	95	< 0,12 (< 0,03 - < 0,25)	7	0,05 (0,03 - 0,08)
Johannisbeere	2008	19	< 0,16 (< 0,07 - 0,84)	3	0,04 (0,03 - 0,05)
	2009	25	< 0,12 (< 0,07 - < 0,23)	2	0,04 (0,03 - 0,04)
Stachelbeere	2008	1	< 0,14	-	
	2009	5	< 0,10 (< 0,03 - < 0,14)	-	
Tafelweintrauben	2008	17	< 0,12 (< 0,06 - < 0,20)	-	
	2009	19	< 0,10 (< 0,03 - < 0,20)	-	
Wald- u. Wildbeeren	2008	14	< 2,51 (< 0,08 - 87,3)	-	

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	2009	21	< 13,6 (< 0,11 - 101)	-	
Kernobst	2008	214	< 0,12 (< 0,03 - 0,28)	25	< 0,02 (0,01 - 0,13)
	2009	203	< 0,12 (< 0,02 - < 0,39)	21	< 0,02 (0,005 - 0,08)
Rhabarber	2008	23	< 0,12 (< 0,04 - 0,30)	-	
	2009	19	< 0,12 (< 0,06 - < 0,19)	1	0,29
Steinobst	2008	86	< 0,13 (< 0,06 - 0,72)	5	0,05 (0,02 - 0,15)
	2009	122	< 0,12 (0,04 - 0,30)	7	0,03 (0,02 - 0,04)
Zitrusfrüchte	2008	11	< 0,11 (< 0,02 - < 0,25)	-	
	2009	9	< 0,11 (< 0,06 - < 0,20)	-	
Sonstige Obstarten	2008	5	< 0,17 (< 0,08 - 0,38)	-	
	2009	8	< 0,14 (< 0,05 - < 0,19)	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-13 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(Other foodstuffs, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Honig	2008	41	< 8,24 (< 0,08 - 191)
	2009	36	< 2,53 (0,08 - 71,8)
Schalenobst (Nüsse)	2008	8	< 0,16 (< 0,11 - 0,28)
	2009	6	< 0,93 (< 0,20 - 4,91)
Leinsamen	2008	-	
	2009	1	< 0,20

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-14 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalbfleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartof-feln	Kernobst	Rind-fleisch	Schweine-fleisch	Kalb-fleisch	Weizen	Kartof-feln	Kernobst
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
1989	0,29	0,10	0,08	3,6	1,0	3,3	0,30	0,36	0,45
1990	0,24	0,08	0,05	1,6	0,70	1,9	0,23	0,23	0,25
1991	0,19	0,09	0,06	1,9	0,78	1,8	0,19	0,24	0,23
1992	0,19	0,07	0,05	1,8	0,84	1,4	0,16	0,27	0,18
1993	0,25	0,18	0,04	1,1	0,42	0,87	0,22	0,21	0,19
1994	0,21	0,08	0,03	0,88	0,29	0,99	0,14	0,31	0,17
1995	0,20	0,08	0,03 *	1,2	0,28	1,3	0,11	0,16	0,14*
1996	0,19	0,07	0,03 *	1,1	0,33	1,3	0,11	0,17	0,13*
1997	0,16	0,068	0,031 *	1,2	0,29	1,0	0,13	0,15	0,13*
1998	< 0,18	< 0,06	< 0,03 *	< 1,05	< 0,25	< 1,08	< 0,13	< 0,16	< 0,14 *
1999	< 0,20	< 0,04	< 0,07 *	< 1,05	< 0,22	< 0,96	< 0,12	< 0,14	< 0,12 *
2000	< 0,16	< 0,05	< 0,03 *	< 0,85	< 0,24	< 1,18	< 0,14	< 0,16	< 0,14 *
2001	< 0,20	< 0,04	< 0,04 *	< 0,81	< 0,25	< 0,66	< 0,13	< 0,15	< 0,13 *
2002	< 0,19	< 0,04	< 0,03 *	< 0,77	< 0,23	< 1,51	< 0,16	< 0,16	< 0,13 *
2003	0,21	< 0,04	< 0,02 *	< 0,81	< 0,20	< 0,78	< 0,14	< 0,16	< 0,13 *
2004	< 0,17	< 0,04	< 0,02 *	< 1,06	< 0,23	< 0,78	< 0,14	< 0,16	< 0,13 *
2005	0,18	< 0,06	< 0,03 *	< 1,26	< 0,19	< 0,66	< 0,14	< 0,16	< 0,16 *
2006	0,16	< 0,05	< 0,02 *	< 1,13	< 0,21	< 0,14	< 0,15	< 0,20	< 0,13 *
2007	0,16	< 0,05	< 0,02 *	< 0,65	< 0,16	< 1,11	< 0,13	< 0,17	< 0,13 *
2008	0,15	< 0,02	< 0,02 *	< 0,64	< 0,19	< 1,07	< 0,14	< 0,14	< 0,12
2009	< 0,16	< 0,05	< 0,02 *	< 0,50	< 0,22	< 0,78	< 0,14	< 0,16	< 0,12 *

* Inland und Einfuhr

\- Angabe nicht erforderlich

Gesamtnahrung

Die Beprobung der Gesamtnahrung (siehe Tabelle 2.4.7-15) dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis gesunder Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrsfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants vermessen. Daraus resultiert eine Mittlung der Verzehrsmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2009 mit 0,25 Bq/(d • p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittelung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,08 Bq/(d • p), gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen:

Sr-90 : 29 Bq/(a • p) [Vorjahr: 37 Bq/(a · p)]

Cs-137 : 91 Bq/(a • p) [Vorjahr: 120 Bq/(a · p)]

Tabelle 2.4.7-15 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat	Jahr	Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)		Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2008	66	< 0,23 (0,04 - 1,17)	18	< 0,08 (< 0,03 - 0,27)
	2009	64	< 0,20 (0,02 - <0,74)	18	< 0,06 (0,01 - 0,13)
Februar	2008	55	< 0,25 (< 0,04 - 2,20)	4	0,07 (0,03 - 0,16)
	2009	55	< 0,27 (< 0,03 - 3,11)	6	< 0,09 (< 0,02 - 0,26)
März	2008	56	< 0,21 (< 0,03 - 1,15)	3	0,05 (0,03 - 0,05)
	2009	67	< 0,26 (< 0,03 - 3,30)	6	0,15 (0,05 - 0,46)
April	2008	61	< 0,56 (< 0,04 - 15,10)	16	< 0,08 (< 0,02 - 0,25)
	2009	60	< 0,29 (< 0,04 - 4,23)	15	< 0,06 (0,01 - 0,17)
Mai	2008	55	< 0,90 (< 0,05 - 16,10)	5	< 0,11 (< 0,02 - 0,24)
	2009	59	< 0,19 (< 0,02 - 0,94)	5	< 0,14 (< 0,03 - 0,31)
Juni	2008	62	< 0,47 (< 0,02 - 14,40)	7	< 0,11 (< 0,03 - 0,41)
	2009	65	< 0,24 (< 0,04 - 3,23)	5	0,11 (0,06 - 0,27)
Juli	2008	62	< 0,22 (< 0,04 - 0,80)	14	< 0,08 (0,03 - 0,24)
	2009	60	< 0,29 (< 0,02 - 2,99)	13	< 0,06 (0,03 - 0,19)
August	2008	58	< 0,20 (< 0,02 - 1,10)	6	< 0,08 (< 0,02 - 0,13)
	2009	59	< 0,21 (< 0,04 - <0,63)	6	< 0,09 (< 0,04 - 0,16)
September	2008	62	< 0,26 (< 0,04 - 3,45)	7	< 0,10 (0,03 - 0,29)
	2009	62	< 0,23 (< 0,05 - 0,98)	7	< 0,17 (0,03 - 0,58)
Oktober	2008	64	< 0,21 (0,03 - 1,10)	15	0,13 (0,04 - 0,39)
	2009	64	< 0,22 (0,02 - 0,90)	16	< 0,07 (0,04 - 0,14)
November	2008	55	< 0,21 (< 0,01 - 1,29)	5	0,07 (0,04 - 0,14)

Monat	Jahr	Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)		Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	2009	61	< 0,19 (< 0,03 - <0,44)	5	< 0,05 (0,02 - 0,10)
Dezember	2008	56	< 0,27 (0,05 - 2,46)	4	0,22 (0,02 - 0,67)
	2009	54	< 0,42 (0,03 - 4,80)	6	0,07 (0,03 - 0,14)
Jahr (gesamt)	2008	712	< 0,33 (< 0,01 - 16,10)	104	< 0,10 (< 0,02 - 0,67)
	2009	730	< 0,25 (< 0,02 - 4,80)	108	< 0,08 (< 0,01 - 0,58)

Tabelle 2.4.7-16 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2008	22	< 0,14 (< 0,02 - 0,68)	10	< 0,05 (< 0,02 - 0,13)
	2009	21	< 0,11 (< 0,03 - <0,20)	9	< 0,04 (< 0,02 - 0,09)
Februar	2008	18	< 0,22 (< 0,02 - 2,06)	3	< 0,02 (< 0,02 - 0,03)
	2009	19	< 0,12 (< 0,02 - <0,30)	4	< 0,02 (< 0,01 - 0,02)
März	2008	14	< 0,28 (< 0,03 - 2,56)	4	0,03 (0,01 - 0,05)
	2009	21	< 0,21 (< 0,02 - 1,79)	9	< 0,04 (< 0,02 - 0,08)
April	2008	22	< 0,11 (< 0,02 - <0,26)	7	< 0,04 (0,01 - 0,11)
	2009	20	< 0,12 (< 0,03 - <0,29)	4	< 0,05 (0,02 - 0,08)
Mai	2008	17	< 0,13 (< 0,03 - <0,23)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	2009	20	< 0,10 (< 0,03 - <0,22)	2	< 0,02 (< 0,02 - 0,02)
Juni	2008	21	< 0,12 (< 0,02 - <0,35)	1	0,03 (0,03 - 0,03)
	2009	20	< 0,18 (< 0,04 - <0,62)	1	0,02 (0,02 - 0,02)
Juli	2008	17	< 0,12 (< 0,02 - <0,22)	6	< 0,04 (< 0,02 - 0,07)
	2009	21	< 0,10 (< 0,03 - <0,20)	7	< 0,03 (< 0,01 - 0,05)
August	2008	21	< 0,12 (< 0,04 - 0,30)	4	< 0,04 (0,02 - 0,08)
	2009	17	< 0,14 (0,03 - 0,74)	3	< 0,07 (< 0,02 - 0,17)
September	2008	18	< 0,23 (< 0,05 - 1,85)	5	0,02 (0,01 - 0,04)
	2009	20	< 0,12 (< 0,02 - <0,23)	6	< 0,04 (0,02 - 0,12)
Oktober	2008	18	< 0,10 (< 0,04 - <0,20)	3	< 0,03 (< 0,02 - 0,06)
	2009	20	< 0,16 (< 0,03 - <0,87)	3	0,08 (0,02 - 0,19)
November	2008	27	< 0,13 (< 0,02 - 0,41)	1	0,02 (0,02 - 0,02)
	2009	22	< 0,10 (< 0,03 - <0,25)		
Dezember	2008	14	< 0,15 (< 0,05 - <0,34)	2	0,02 (0,01 - 0,03)
	2009	19	< 0,11 (< 0,03 - <0,20)	1	0,03 (0,03 - 0,03)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Jahr (gesamt)	2008	229	< 0,15	(< 0,02 - 2,56)	48	< 0,04	(< 0,01 - 0,13)
	2009	240	< 0,13	(< 0,02 - 1,79)	51	< 0,04	(< 0,01 - 0,19)

2.4.8 Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

(Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of nuclear facilities)

Die Aktivitätskonzentrationen in Pflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie spiegeln damit die Situation bei den Böden wider, die nach wie vor durch die Depositionen nach den Kernwaffenversuchen und dem Unfall in Tschernobyl geprägt ist. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in den Tabellen 2.4.8-1 und 2.4.8-2, für Obst in Tabelle 2.4.8-3 und für Kartoffeln in Tabelle 2.4.8-4 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.4.8-1 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	25	<0,04	19	<0,05	14	<0,05 (<0,02 - <0,10)
	Sr-90	4	0,03	4	0,13	2	0,08 (0,08 - 0,08)
KWO Obrigheim	Cs-137	18	<0,06	12	<0,08	9	<0,07 (<0,03 - <0,08)
	Sr-90	15	0,20	10	0,12	7	0,12 (0,04 - 0,3)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	23	<0,06	11	<0,08	9	<0,06 (<0,03 - <0,08)
	Sr-90	19	<0,10	11	0,08	8	0,10 (0,04 - 0,22)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,05	10	<0,06	1	<0,3
	Sr-90	1	0,13	3	0,14	1	0,05
KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	17	<0,08	11	<0,05	14	<0,06 (<0,02 - <0,11)
(Schweiz)	Sr-90	3	0,28	5	0,16	6	0,09 (0,05 - 0,22)
KKW Fessenheim	Cs-137	17	<0,07	8	<0,05	4	<0,04 (0,02 - <0,06)
(Frankreich)	Sr-90	6	0,25	3	0,08	2	0,13 (0,09 - 0,17)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	1	0,04	1	0,04	1	<0,03
	Sr-90	1	0,09	1	0,1	1	0,11
KKI Isar	Cs-137	1	<0,05	1	<0,04	1	<0,02
	Sr-90	1	0,09	1	0,13	1	0,09
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,05	3	<0,03	3	<0,06 (<0,05 - <0,09)
	Sr-90	3	<0,03	3	<0,05	3	<0,07 (<0,02 - 0,15)
Forschungsreaktor	Cs-137	1	<0,07	1	<0,06	1	0,03

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
München	Sr-90	1	0,05	1	0,04	1	0,09
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	17	<0,09	16	<0,14	a	
	Sr-90	4	0,07	2	0,02	a	
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	18	<0,13	18	<0,16	17	<0,14 (<0,09 - <0,2)
	Sr-90	17	0,23	17	0,24	17	0,23 (0,03 - 1,0)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	4	<0,05	5	<0,09	9	<0,05 (<0,01 - <0,12)
	Sr-90	4	0,06	5	0,05	9	0,03 (0,01 - 0,06)
Nuklearbetriebe Hanau [c]	Gesamt-α Asche	a		a		a	
	Pu-238 Asche	a		a		a	
	Pu-(239+ 240) Asche	a		a		a	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	3	<0,13	4	<0,08	4	<0,10 (<0,09 - <0,12)
	Sr-90	a					
KKU Unterweser	Cs-137	8	<0,07	7	<0,07	7	<0,9 (<0,05 - <0,13)
	Sr-90	8	0,14	5	0,07	7	<0,05 (<0,02 - 0,09)
KWG Grohnde	Cs-137	4	<0,11	5	<0,07	4	<0,09 (<0,07 - <0,12)
	Sr-90	4	0,33	5	0,10	4	0,10 (0,05 - 0,16)
KKE Emsland	Cs-137	7	<0,10	6	<0,09	6	<0,11 (<0,07 - 0,21)
	Sr-90	7	0,16	6	0,11	6	0,09 (0,04 - 0,19)
Schacht Konrad II [b]	Cs-137	b		b		b	
	Sr-90	b		b		b	
Schachtanlage Asse	Cs-137	3	<0,08	3	<0,09	3	<0,07 (<0,05 - <0,11)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	4	<0,06	4	<0,12	4	<0,13 (<0,1 - <0,2)
	Sr-90	4	0,06	4	0,09	4	0,06 (0,04 - 0,09)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	7	6,3	7	<2,2	4	16,9 (1,5 - 43,7)
	Uran (Bq/kg TM)	7	<1,2	7	<0,30	4	2,2 (0,23 - 4,3)
	U-238 (Bq/kg TM)	3	<0,3	a		1	<0,3
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	1	<0,02	3	<0,14	a	
	Sr-90						
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,22	1	<0,16	1	<0,13
	Sr-90	1	0,24	1	0,17	1	0,16
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	a		2	<0,18	2	<0,16 (<0,15- <0,17)
	Sr-90	a		1	0,04	1	<0,04
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,09	1	<0,07	1	<0,10
	Sr-90	1	0,08	1	0,09	1	0,13
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	<0,07	1	<0,09	1	<0,05
	Sr-90						
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,06	3	<0,11	1	<0,08
	Sr-90	2	0,07	3	0,05	1	0,10

a Messwerte lagen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

c Die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe Hanau wurden im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen

Tabelle 2.4.8-2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

LAND / Kerntechnische Anlage	Messver-fahren / Nuklid	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	7	<0,11	9	<0,08	7	<0,08 (<0,07 - <0,1)
	Sr-90	3	0,14	4	0,15	4	0,17 (0,08 - 0,29)
KWO Obrigheim	Cs-137	7	<0,08	6	<0,08	4	<0,07 (<0,07 - <0,08)
	Sr-90	3	0,13	a		2	0,11 (0,10 - 0,13)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	5	<0,07	6	<0,08	4	<0,06 (<0,05 - <0,09)
	Sr-90	3	0,10	a		2	0,15 (0,12 - 0,17)
KKP Philippsburg	Cs-137	7	<0,09	5	<0,08	3	<0,08 (<0,05 - <0,12)
	Sr-90	2	0,04	3	0,07	2	0,09 (0,06 - 0,13)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	<0,05	6	<0,06	5	<0,06 (<0,04 - <0,10)
	Sr-90	5	0,13	2	0,26	2	0,19 (0,08 - 0,31)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	<0,08	6	<0,06	4	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	2	0,25	4	0,10	1	0,15
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	4	<0,03	4	<0,3	4	<0,03 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	4	<0,04	4	<0,01	4	<0,02 (<0,01 - <0,04)
KKI Isar	Cs-137	5	<0,31	5	<0,09	5	<0,05 (<0,02 - 0,13)
	Sr-90	5	<0,10	3	<0,01	5	<0,02 (<0,01 - <0,02)
	Cs-137	2	<0,04	2	<0,05	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
KKG Grafenrheinfeld	Sr-90	2	0,04	2	0,05	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
Forschungsreaktor	Cs-137	1	<0,09	1	<0,02	1	<0,05
München	Sr-90	1	0,09	1	0,15	1	0,09
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	9	<0,12	8	<0,13	1	<0,12
	Sr-90	9	0,09	8	0,14	1	0,05
Nuklearbetriebe Hanau [c]	Gesamt-α Asche	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Messver-fahren / Nuklid	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Pu-238 Asche	a		a		a	
	Pu-(239+ 240) Asche	a		a		a	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	5	<0,11	5	<0,11	5	<0,11 (<0,09 - <0,13)
	Sr-90	5	<0,12	5	0,17	5	0,14 (0,07 - 0,22)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,09	2	<0,07	2	<0,14 (<0,12 - <0,16)
	Sr-90	2	0,52	2	0,23	2	0,14 (0,14 - 0,14)
KKE Emsland	Cs-137	a		1	0,17	1	0,17
	Sr-90	a		1	0,93	1	0,21
Schacht Konrad II [b]	Cs-137	b		b		b	
	Sr-90	b		b		b	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
FZ Jülich	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	18	<1,6	18	<1,7	20	<1,5 (<1,5 - 1,5)
	Uran (Bq/kg TM)	18	<0,28	18	<0,24	21	<0,23 (<0,23 - <0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	4	<0,3	a		5	<0,3 (<0,3 - <0,3)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Messver-fahren / Nuklid	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	a		4	<0,14	3	<0,15 (<0,14- <0,18)
	Sr-90	a		2	0,21	1	0,08
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,19	1	<0,12	1	<0,13
	Sr-90	1	0,16	1	0,19	1	0,15
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,14	2	<0,15	2	<0,15 (<0,14 - <0,16)
	Sr-90	2	0,13	2	0,09	2	0,11 (0,07 - 0,15)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,08	2	<0,08	2	<0,12 (<0,10 - 0,15)
	Sr-90	2	0,12	2	0,21	2	0,32 (0,17 - 0,46)

a Messwerte lagen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

c Die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe Hanau wurden im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen

Tabelle 2.4.8-3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	3	<0,04	3	<0,04	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	a		1	0,03	a	
KWO Obrigheim	Cs-137	9	<0,06	6	<0,07	4	<0,6 (<0,05 - <0,06)
	Sr-90	3	0,15	3	0,10	2	0,05 (0,04 - 0,05)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	<0,06	6	<0,08	3	<0,05 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	3	0,19	3	0,17	2	0,15 (0,05 - 0,24)
KKP Philippsburg	Cs-137	3	<0,08	4	<0,06	3	<0,08 (<0,05 - <0,1)
	Sr-90	1	0,21	2	0,03	1	0,02
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	3	<0,05	5	<0,06	4	<0,04 (<0,01 - <0,06)
	Sr-90	3	0,05	4	0,13	4	0,02 (0,01 - 0,03)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,07	4	<0,07	2	<0,05 (<0,04 - <0,06)
	Sr-90	2	0,15	a		1	0,11
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,02	2	<0,02	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	Sr-90	2	<0,01	2	<0,01	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKI Isar	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,02	2	<0,02	2	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	2	<0,04	2	<0,04	2	<0,03 (<0,01 - <0,04)
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	17	<0,08	10	<0,09	1	0,17
	Sr-90	3	0,04	4	0,08	1	0,11
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	9	<0,04	10	<0,05	8	<0,04 (<0,01 - <0,09)
	Sr-90	9	0,02	10	0,02	8	0,04 (0,01 - 0,15)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,07	4	<0,07	4	<0,07 (<0,05 - 0,1)
	Sr-90	4	0,06	4	0,03	4	0,01 (0,01 - 0,02)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	6	<0,05	1	<0,07	6	<0,07 (<0,03 - <0,10)
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	1	<0,06	a		1	<0,05
	Sr-90	1	0,04	a		1	0,02
KKE Emsland	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schacht Konrad II [c]	Cs-137	c		c		c	
	Sr-90	c		c		c	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,04	3	<0,08	a	
	Sr-90	3	0,04	3	0,03	a	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	2	b)1,6; 205	2	<1,5 (<1,5; <1,5)	2	1,6 (1,5; 1,6)
	Uran (Bq/kg TM)	2	<0,23	2	<0,23	2	<0,23 (<0,23;<0,23)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	U-238 (Bq/kg TM)	3	<0,3 (<0,3 - <0,3) (Rhabarber)	a		4	<0,3 (<0,3 - <0,3) (Rhabarber)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	3	<0,02	1	<0,04	1	<0,02
	Sr-90	a		a		a	
SACHSEN							
VKTA Rossendorff	Cs-137	1	<0,12	1	<0,15	1	<0,15
	Sr-90	1	0,02	1	0,02	1	0,02
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	a		4	<0,14	4	<0,13 (<0,09- <0,16)
	Sr-90	a		1	0,13	1	<0,02
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,04	2	<0,04	2	<0,04 (<0,02 - 0,06)
	Sr-90	2	0,04	2	0,06	2	0,03 (0,03 - 0,03)

a Messwerte lagen nicht vor

b Mittelwertbildung nicht sinnvoll

c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-4 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	3	<0,05	4	<0,07	4	<0,06 (<0,05 - <0,06)
	Sr-90	2	0,02	2	0,08	3	<0,04 (<0,01 - <0,06)
KWO Obrigheim	Cs-137	2	<0,06	3	<0,06	1	<0,04
	Sr-90	2	0,06	3	0,04	1	0,02
GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	<0,22	2	<0,05)	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)
	Sr-90	3	0,03	2	0,02)	2	0,03 (0,03 - 0,03)
KKP Philippsburg	Cs-137	a		1	<0,08	a	
	Sr-90	a		1	0,07	a	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,06	5	<0,04	3	<0,04 (<0,03 - 0,04)
	Sr-90	5	0,03	2	0,03	2	0,04 (0,02 - 0,06)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,05	3	<0,05	3	<0,03 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	1	0,08	2	0,03	3	0,04 (0,03 - 0,05)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2007		2008		2009	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	1	<0,05
	Sr-90	1	<0,02	1	<0,02	1	<0,02
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	3	<0,07	4	<0,15	a	
	Sr-90	2	0,03	1	0,02	a	
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	6	<0,03	6	<0,10	11	<0,09 (<0,02 - <0,16)
	Sr-90	6	<0,03	6	0,04	11	<0,02 (<0,01 - 0,04)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	1	<0,09	1	<0,08	a	
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	a		1	<0,09	1	<0,14
	Sr-90	a		1	0,03	1	<0,02
KWG Grohnde	Cs-137	1	<0,08	1	<0,09	1	<0,07
	Sr-90	1	0,08	1	0,1	1	0,04
KKE Emsland	Cs-137	1	<0,12	1	0,09	1	<0,07
	Sr-90	1	0,06	1	0,02	1	0,02
Schachtanlage Asse	Cs-137	1	<0,09	1	<0,08	1	<0,13
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	1	<0,1	2	<0,09	2	<0,1 (<0,1 - <0,1)
	Sr-90	2	0,02	2	0,03	2	0,14 (0,13 - 0,14)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	1	0,03	1	0,06	4	<0,03 (<0,03 - 0,04)
	Sr-90	a		a		a	

a Messwerte lagen nicht vor

2.5 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

(Consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials)

Die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände überwacht routinemäßig vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen.

Die Messwerte für die spezifischen Aktivitäten von K-40 und Cs-137 werden jährlich tabellarisch zusammengestellt.

In Tabelle 2.5-1 sind die ermittelten Jahresmittelwerte der C-137- und K-40-Konzentrationen für 2009 zusammengefasst. Die spezifischen Aktivitäten des Cs-137 erreichten Spitzenwerte von etwa 470 Bq/kg (TM) bei Bitterkleeblättern aus Polen und etwa 26 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Kroatien.

Die spezifischen Aktivitätswerte des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 lagen mit maximal 1.800 Bq/kg (TM) bei Brennnesselblättern aus Bulgarien und minimal 70 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Kroatien im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite.

Die angegebenen Messwerte können wegen der Art der Probenbeschaffung nicht als repräsentativ für das Ursprungsland gelten. Durch lokale Unterschiede, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, können die gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 erhebliche Variabilitäten aufweisen.

Tabelle 2.5-1 Jahresmittelwerte der Cs-137- und K-40-Konzentration in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Ausgangsstoffen für Arzneimittel für das Jahr 2009, mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean value of Cs-137 and K-40 concentration in different medicinal plants and products for pharmaceuticals for the year 2009 with indication of the particular country of origin)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Baldrianwurzel	Polen	530	1,4
Bitterkleeblätter	Polen	860	470
Brennnesselblätter	Bulgarien	1.800	0,4
Fenchel Kamm ganz	Deutschland	590	NWG [2]): 0,2
Gänsefingerkraut	Ungarn	510	1,4
Grüner Tee Sencha KBA [1])	China	680	0,3
Island Moos	Kroatien	70	26
Johanniskraut	Bulgarien	410	0,4
Kamillenblüten, ganz	Kroatien	1.200	0,4
Mateblätter, grün	Brasilien	510	0,5
Melissenblätter	Bulgarien	750	0,3
Pfeffer, schwarz, ganz	Vietnam	490	NWG [2]): 0,2
Pfefferminzblätter	Polen	890	0,7
Ringelblumenblüten, ganz	Ägypten	1.000	0,5
Salbeiblätter, ganz KBA [1])	Kroatien	570	0,3
Thymian, gerebelt	Polen	1000	0,3

1) KBA: kontrolliert biologischer Anbau

2) NWG: Nachweisgrenze

2.6 Abwasser und Klärschlamm

(Waste water and sewage sludge)

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm wird auf Teil A - II - 2.6 verwiesen.

Dem Bericht für das Jahr 2009 liegen die Messergebnisse aus 91 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. auf teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In Tabelle 2.6-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Co-60, Cs-137, I-131, Sr-90 und den Uranisotopen. Zum Vergleich sind die Medianwerte des Vorjahres ebenfalls angegeben.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm variieren in Abhängigkeit der regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2009 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 790 Bq/kg TM (Vorjahr bis 780 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 250 bzw. 280 Bq/kg TM (Vorjahr 140 bzw. 120 Bq/kg TM). Wie stets wurde das in der oberen Atmosphäre durch Einwirkung der kosmischen Strahlung gebildete und daher an der Erdoberfläche allgegenwärtige kurzlebige Be-7 (Halbwertszeit: 53 Tage) mit spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm bis zu 2.200 Bq/kg TM bestimmt.

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) wurde nur in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 40 Bq/kg TM; Maximalwert: 1.200 Bq/kg TM, Vorjahr 36 bzw. 2.300 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert Abwasser: 1,8 Bq/l, Maximalwert Klärschlamm: 440 Bq/kg TM) sowie Thallium-201 (Tl-201; Maximalwert: 62 Bq/kg TM), Thallium-202 (Tl-202; Maximalwert: 1,6 Bq/kg TM) und Indium-111 (In-111; Maximalwert: 24 Bq/kg TM). Im Klärschlamm der Kläranlage Stade wurde in sehr geringer Konzentration von 0,87 Bq/kg TM Co-60 festgestellt.

Von den infolge des Kernkraftwerkunfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten ist für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 und Sr-90 von Bedeutung, wobei die Kontaminationen teilweise und bei Sr-90 sogar hauptsächlich durch den Fallout aus der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1975 bedingt sind. Das kurzlebigere Cäsiumisotop Cs-134 (Halbwertzeit ca. 2 Jahre) ist dagegen nicht mehr nachzuweisen. Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Kernkraftwerkunfall in Tschernobyl z. T. noch immer erhöhten Cs-137-Kontaminationen der Klärschlämme dürften vorwiegend auf mit dem Niederschlagswasser in die Kläranlagen eingeschwemmte kontaminierte Bodenpartikel zurückzuführen sein.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in Abwässern lagen zu 98% unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Mindestnachweisgrenze dieses Radionuklids im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 2009 zwischen 0,0017 und 0,051 Bq/l, bei einem Median von < 0,031 Bq/l (2008: zwischen 0,0016 und 0,036 Bq/l).

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge starker Niederschläge Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 2.6-1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher kontaminierten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern. Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2009 - wie seit bereits mehr als 15 Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 56 Bq/kg TM für Cs-137. Seit 1999 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten 180, 140, 140, 110, 110, 98, 86, 71, 65, 56 und 56 Bq/kg TM.

In Abbildung 2.6-1 sind für alle Bundesländer die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme der letzten acht Jahre dargestellt.

Die in der Vergangenheit deutlich sichtbare Tendenz einer kontinuierlichen Abnahme der Kontamination der Klärschlämme ist nur noch in wenigen Fällen zu beobachten, z. B. in Baden-Wüttemberg, Thüringen und Nordrhein-Westfalen. Im Zeitraum von 1988 bis 2009 wurden im südlichen Bayern anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt, die sich über ein nahezu konstantes Niveau in den Jahren 1999 bis 2002 weiterhin verringern: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38, 37, 44, 30, 25, 24, 24, 20, 16 und 21 Bq/kg TM. Der erneute Anstieg des Jahresmittelwerts auf 21 Bq/kg TM im Jahr 2009 ist bedingt durch zwei Ausreißerwerte in den Kläranlagen Augsburg und Garching, der extrem starke Anstieg des Jahresmittelwerts 2006 für Rheinland-Pfalz wurde verursacht durch ungewöhnlich hohe Kontaminationen dreier Klärschlammproben aus der Kläranlage Trier. Dieser Schlamm wird in einem Trockenbeet entwässert und kann als Folge unregelmäßiger Ausräumung u. U. sehr große Inhomogenitäten aufweisen. Bei dem inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveau der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen hauptsächlich durch die natürliche Streuung der Messwerte bedingt.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 56 Bq/kg TM (Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von unter 10 Bq Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zurzeit ca. 20.000 Bq/m^2 Cs-137 eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,05%. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche Aufstockung des Cs-137-Inventars durch den radioaktiven Zerfall von 2,3% pro Jahr des bereits im Boden befindlichen Inventars in der Höhe um ein Vielfaches kompensiert wird.

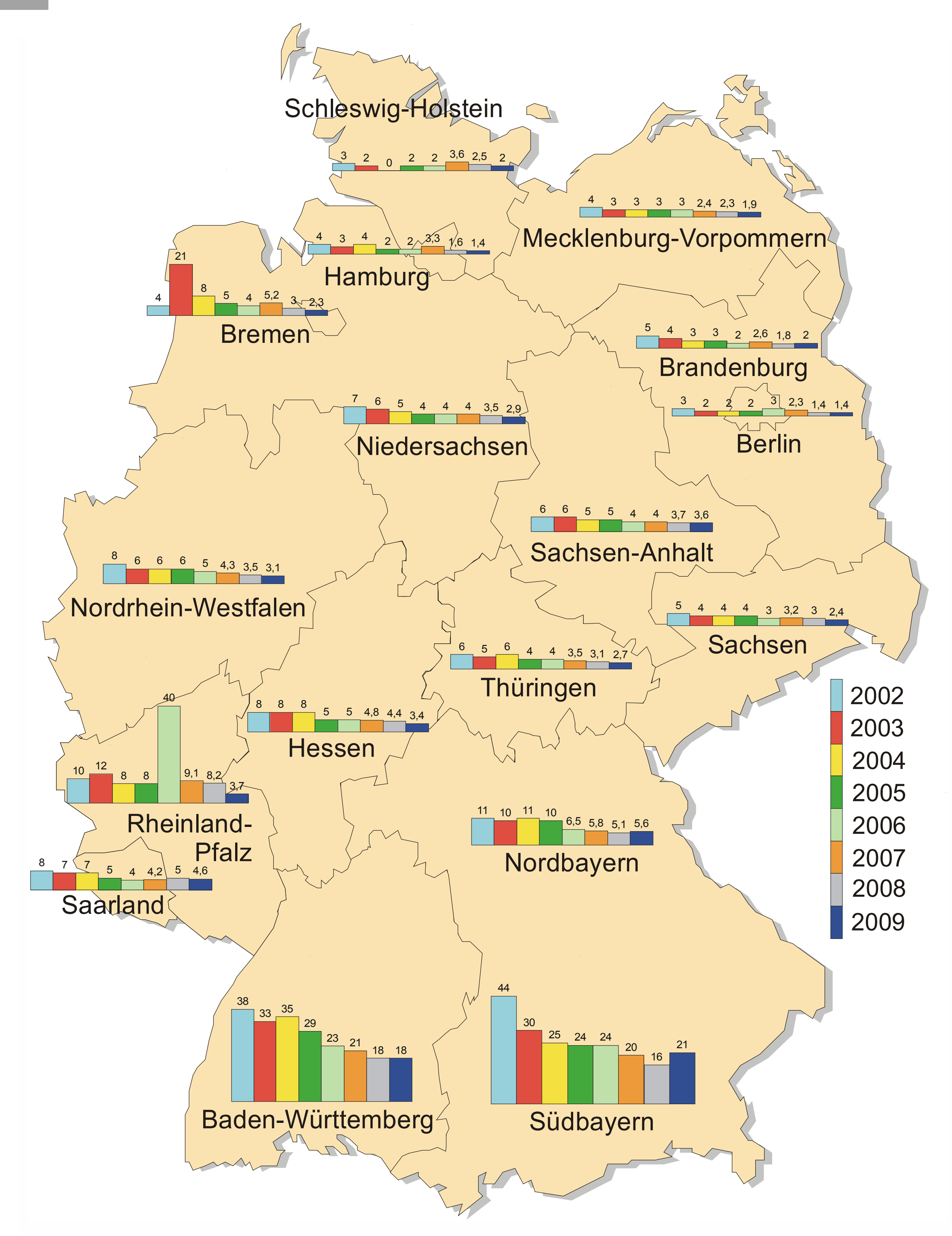


Abbildung 2.6-1 **Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)**

(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

Tabelle 2.6-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2009 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte

(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2009 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-wert[1]	Maximal-wert[1]	Mittel-/ Einzelwert[1]	Median	
		Gesamt	<NWG				2009	2008
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	19	1,4	1,4		<0,65	<0,7
	Co-60	20	20				<0,076	<0,082
	I-131	20	9	0,12	0,26	0,17	0,14	0,14
	Cs-137	20	20				<0,078	<0,083
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,1
	U-234	4	4				<0,1	<0,1
	U-235	4	4				<0,1	<0,1
	U-238	4	4				<0,1	<0,1
Hamburg	K-40	5	4	1,8	1,4		<1,4	<1,4
	Co-60	5	5				<0,067	<0,051
	I-131	5	0	0,096	0,45	0,25	0,22	0,46
	Cs-137	5	5				<0,062	<0,054
	Sr-90	4	0	0,00065	0,00088	0,00076	0,00075	0,00078
	U-234	4	2	0,00016	0,00017	0,00017	0,00016	<0,00017
	U-235	4	4				<0,000074	<0,000086
	U-238	4	3	0,00015	0,00015		<0,00011	<0,00016
Niedersachsen	K-40	48	22	0,4	5,1	0,83	0,65	<0,67
	Co-60	48	48				<0,025	<0,026
	I-131	48	16	0,042	0,82	0,15	<0,083	0,09
	Cs-137	48	46				<0,021	<0,021
	Sr-90	6	1	0,007	0,012	0,009	0,0081	<0,0071
	U-234	4	1	0,0011	0,0026	0,0017	0,0013	0,0019
	U-235	4	4				<0,00058	<0,0006
	U-238	4	1	0,001	0,0016	0,0013	0,0012	0,0016
Bremen	K-40	8	1	0,63	1,4	1,1	1,1	0,92
	Co-60	8	8				<0,051	<0,057
	I-131	8	0	0,025	0,37	0,22	0,24	0,24
	Cs-137	8	8				<0,059	<0,061
	Sr-90	4	3	0,016	0,016		<0,007	0,019
	U-234	4	0	0,0015	0,005	0,0038	0,0044	0,0035
	U-235	4	2	0,00048	0,00075	0,00061	0,00061	<0,00044
	U-238	4	0	0,0016	0,005	0,0037	0,0042	0,0031
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	36	0,55	4,9		<1,2	<1,1
	Co-60	40	40				<0,059	<0,055
	I-131	40	40	0,044	4,7		<0,11	<0,16
	Cs-137	40	40				<0,06	<0,056
	Sr-90	4	2	0,064	0,083	0,0073	0,064	0,019
	U-234	4	3	0,011	0,011		<0,0032	0,0075
	U-235	4	4				<0,0025	<0,0015
	U-238	4	2	0,0037	0,0095	0,0066	0,0037	<0,0031
Hessen	K-40	20	19	0,55	0,55		<1,2	<1,2
	Co-60	20	20				<0,045	<0,047
	I-131	19	16	0,091	0,29		<0,21	<0,16
	Cs-137	20	20				<0,044	<0,049
	Sr-90	4	4				<0,015	<0,019
	U-234	4	1	0,006	0,032	0,019	0,012	0,011
	U-235	4	4				<0,005	<0,005
	U-238	4	2	0,012	0,02	0,016	0,012	0,007

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-wert[1]	Maximal-wert[1]	Mittel-/ Einzelwert[1]	Median	
		Gesamt	<NWG				2009	2008
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Rheinland-Pfalz	K-40	21	13	0,61	2		0,84	0,79
	Co-60	21	20				<0,028	<0,027
	I-131	21	9	0,035	0,25	0,12	<0,049	0,15
	Cs-137	21	21				<0,027	<0,027
	Sr-90	4	0	0,0015	0,0024	0,0019	0,0019	0,0018
	U-234	4	0	0,0088	0,03	0,02	0,021	0,018
	U-235	4	4				<0,0041	<0,002
	U-238	4	0	0,0089	0,035	0,022	0,023	0,018
Baden-Württemberg	K-40	40	7	0,26	0,76	0,46	0,46	0,42
	Co-60	40	40				<0,018	<0,019
	I-131	40	30				<0,032	<0,039
	Cs-137	40	40				<0,018	<0,017
	Sr-90	4	0	0,0018	0,0047	0,003	0,0027	<0,01
	U-234	4	0	0,0003	0,0084	0,0052	0,0061	0,0027
	U-235	4	4				<0,00082	<0,00047
	U-238	4	0	0,00026	0,0059	0,0038	0,0044	0,0023
Bayern	K-40	37	37				<1,4	<1,3
	Co-60	37	37				<0,093	<0,098
	I-131	37	33	0,12	0,41		<0,21	<0,28
	Cs-137	37	37				<0,094	<0,099
	Sr-90	4	2	0,0034	0,0048	0,0041	0,0041	0,0038
	U-234	4	0	0,00068	0,012	0,0059	0,0056	0,0076
	U-235	4	4				<0,00065	<0,00097
	U-238	4	0	0,0052	0,012	0,0058	0,0056	0,0074
Saarland	K-40	8	0	0,46	1,4	0,86	0,89	0,83
	Co-60	8	8				<0,0084	<0,007
	Cs-137	8	8				<0,0089	<0,0071
	Sr-90	4	0	0,0031	0,0047	0,0038	0,0037	0,0028
	U-234	4	0	0,0015	0,0057	0,0029	0,0022	0,0018
	U-235	4	4				<0,00033	<0,00018
	U-238	4	0	0,0011	0,0044	0,0021	0,0015	0,0012
Berlin	K-40	3	0	0,79	0,85	0,83	0,84	0,81
	Co-60	3	3				<0,0012	<0,001
	I-131	3	3				<0,023	<0,023
	Cs-137	3	1	0,0021	0,0023	0,0022	0,0021	0,0019
	Sr-90	3	0	0,0021	0,003	0,0025	0,0024	0,003
	U-234	3	0	0,0024	0,0046	0,0033	0,0028	0,0033
	U-235	3	0	0,00013	0,00017	0,00016	0,00016	0,00014
	U-238	3	0	0,002	0,0036	0,0028	0,0027	0,0028
Brandenburg	K-40	29	6	0,7	6	1,8	1	0,9
	Co-60	29	29				<0,023	<0,016
	I-131	29	16	0,06	1,2		0,08	<0,083
	Cs-137	29	25	0,0017	0,0051		<0,019	<0,017
	Sr-90	11	1	0,002	0,006	0,0032	0,0027	0,0024
	U-234	11	5	0,0007	0,002	0,0015	0,0008	0,0011
	U-235	11	9	0,000077	0,000094		<0,00025	<0,00022
	U-238	11	5	0,0008	0,002	0,0014	0,001	0,0011
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,55	1	0,78	0,77	0,68
	Co-60	20	20				<0,0097	<0,01
	I-131	20	6	0,013	0,12	0,054	<0,046	0,021
	Cs-137	20	19	0,0027	0,0027		<0,0071	<0,0076
	Sr-90	4	2	0,0023	0,0029	0,0026	0,0029	<0,0031
	U-234	4	2	0,0022	0,0052	0,0037	<0,0065	<0,011
	U-235	4	4				<0,0029	<0,0048
	U-238	4	2	0,0015	0,0052	0,0033	0,0052	<0,0086

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-wert[1]	Maximal-wert[1]	Mittel-/ Einzelwert[1]	Median	
		Gesamt	<NWG				2009	2008
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Sachsen	K-40	20	11	0,44	1,2		1	0,93
	Co-60	20	20				<0,071	<0,071
	I-131	20	10	0,085	0,46	0,19	0,14	0,13
	Cs-137	20	20				<0,061	<0,062
	Sr-90	4	0	0,006	0,019	0,012	0,012	<0,014
	U-234	4	0	0,0011	0,065	0,019	0,0055	0,0043
	U-235	4	3	0,0026	0,0026		<0,0014	<0,0016
	U-238	4	0	0,0008	0,06	0,018	0,0055	0,0043
Sachsen-Anhalt	K-40	20	1	0,41	1,1	0,65	0,62	0,8
	Co-60	20	20				<0,0097	<0,011
	I-131	20	1	0,01	0,73	0,12	0,058	0,091
	Cs-137	20	20				<0,0097	<0,012
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,1
	U-234	4	0	0,015	0,028	0,013	0,011	0,031
	U-235	4	4				<0,0004	<0,0005
	U-238	4	0	0,014	0,019	0,009	0,0077	0,024
Thüringen	K-40	20	19	0,93	0,93		<2,2	<1,6
	Co-60	20	20				<0,083	<0,076
	I-131	20	17	0,13	5,3		<0,1	<0,091
	Cs-137	20	20				<0,089	<0,079
	Sr-90	4	4				<0,0028	<0,0033
	U-234	4	0	0,015	0,087	0,05	0,049	0,03
	U-235	4	2	0,0019	0,0035	0,0027	<0,002	<0,0025
	U-238	4	0	0,0078	0,046	0,026	0,026	0,015
Bundesrepublik Deutschland	K-40	359	195	0,26	6		0,85	<0,83
	Co-60	359	359				<0,035	<0,037
	I-131	350	206	0,01	5,3		<0,095	<0,11
	Cs-137	359	352	0,0017	0,0051		<0,031	<0,033
	Sr-90	72	27	0,00065	0,083	0,0077	0,0044	0,0037
	U-234	70	18	0,00016	0,087	0,011	0,004	0,004
	U-235	70	60	0,000077	0,0035		<0,00065	<0,00063
	U-238	70	19	0,00015	0,06	0,0085	0,0036	0,0036
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	44	120	76	75	64
	Co-60	20	20				<0,67	<0,98
	I-131	20	1	13	91	38	31	23
	Cs-137	20	5	0,7	3,9	2	1,4	<1,7
	Sr-90	4	0	1,2	2,8	1,8	1,6	2,5
	U-234	4	0	9,5	16	13	13	13
	U-235	4	4				<5	<5
	U-238	4	0	8,8	13	11	11	12
Hamburg	K-40	8	0	110	360	240	230	230
	Co-60	8	8				<1,3	<1
	I-131	8	0	20	110	52	43	40
	Cs-137	8	4	0,98	1,6	1,4	<1,7	<1,8
	Sr-90	4	0	0,82	1,6	1,1	1,1	1,2
	U-234	4	0	14	17	15	15	14
	U-235	4	0	0,58	0,72	0,66	0,68	0,6
	U-238	4	0	13	15	14	14	12
Niedersachsen	K-40	40	4	39	470	170	98	98
	Co-60	40	39	0,87	0,87		<0,45	<0,35
	I-131	37	0	0,75	1200	160	93	58
	Cs-137	40	3	0,56	8,5	2,9	2,2	2,5
	Sr-90	4	0	1,3	2,8	2,1	2,1	1,9
	U-234	4	0	12	31	22	22	30
	U-235	4	0	0,57	1,1	0,86	0,89	1,3
	U-238	4	0	12	24	18	19	26

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-wert[1]	Maximal-wert[1]	Mittel-/ Einzelwert[1]	Median	
		Gesamt	<NWG				2009	2008
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Bremen	K-40	8	0	280	790	410	370	360
	Co-60	8	8				<2,2	<2,8
	I-131	8	0	8	300	100	62	45
	Cs-137	8	1	1,6	3,1	2,3	2,4	3,3
	Sr-90	4	0	1,1	1,9	1,5	1,5	1,4
	U-234	4	0	6,6	14	11	11	13
	U-235	4	2	1,2	1,9	1,6	<1,7	2,4
	U-238	4	0	6,1	14	10	10	12
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	5,2	480	160	120	140
	Co-60	40	40				<0,22	<0,26
	I-131	37	0	2,8	260	53	3,4	48
	Cs-137	40	6	0,87	8,1	3,1	2,6	3,2
	Sr-90	5	0	1,4	8,4	3,6	2,4	2,5
	U-234	4	0	30	41	36	36	35
	U-235	4	1	1,4	1,9	1,7	1,6	1,8
	U-238	4	0	23	36	29	29	29
Hessen	K-40	20	0	95	170	140	140	150
	Co-60	20	20				<1,1	<1,1
	I-131	20	1	2,8	250	57	34	35
	Cs-137	20	6	1,1	6,6	3,4	2,7	3,5
	Sr-90	4	4				<1,1	0,87
	U-234	4	0	39	250	120	94	78
	U-235	4	0	1,4	8,1	4	3,2	2,2
	U-238	4	0	30	160	80	66	52
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	96	270	170	170	150
	Co-60	20	20				<0,55	<0,57
	I-131	20	1	2,4	290	46	22	11
	Cs-137	20	2	1,2	9,4	3,7	3,3	3,9
	Sr-90	4	0	0,85	1,4	1,1	1,1	2,7
	U-234	4	0	46	160	97	91	
	U-235	4	0	1,3	6,5	3,2	2,5	
	U-238	4	0	35	86	57	53	
Baden-Württemberg	K-40	40	0	49	360	180	160	170
	Co-60	40	40				<0,76	<0,77
	I-131	40	4	1,2	540	74	37	26
	Cs-137	40	0	2,5	98	18	7,1	8,3
	Sr-90	4	0	0,71	1,5	1,2	1,3	1,2
	U-234	4	0	29	56	40	37	42
	U-235	4	0	0,97	2,5	1,6	1,5	1,7
	U-238	4	0	22	52	34	32	35
Baden-Württemberg (West[2])	Co-60	28	28				<0,7	< 0,76
	Cs-137	28	0	2,5	50	8,4	5,9	5,2
	Sr-90	2	0	0,71	1,5	1,1	1,1	1,3
Baden-Württemberg (Ost[3])	Co-60	12	12				<0,81	<1,1
	Cs-137	12	0	8,5	98	40	31	43
	Sr-90	2	0	1,1	1,5	1,3	1,3	1,2
Bayern	K-40	39	0	26	610	270	230	210
	Co-60	39	39				<1,5	<1,6
	I-131	37	5	9,6	370	69	45	47
	Cs-137	39	4	2,6	82	14	7	8,9
	Sr-90	4	0	2,1	6,6	3,9	3,5	3,5
	U-234	4	0	38	150	83	73	46
	U-235	5	1	1,7	6,4	3,7	<4	3,8
	U-238	4	0	37	130	77	69	43
Bayern (Nord[2])	Co-60	19	19				<1,5	<1,7
	Cs-137	19	3	2,6	8,8	5,6	5,1	4,8
	Sr-90	2	0	2,1	6,6	4,3	4,3	3,5

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-wert[1]	Maximal-wert[1]	Mittel-/ Einzelwert[1]	Median	
		Gesamt	<NWG				2009	2008
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Bayern (Süd[3])	Co-60	20	20				<1,5	< 1,4
	Cs-137	20	1	3,4	82	21	15	16
	Sr-90	2	0	3,1	3,8	3,5	3,5	3,5
Saarland	K-40	8	0	120	300	200	190	180
	Co-60	8	8				<0,35	<0,34
	I-131	8	0	5,1	42	17	8	18
	Cs-137	8	0	1,3	10	4,6	4,6	4,4
	Sr-90	4	0	1,4	3	2,3	2,4	2,4
	U-234	4	0	56	72	66	69	63
	U-235	4	0	1,6	2,7	2,1	2,2	2,2
	U-238	4	0	42	52	47	47	46
Berlin	K-40	4	0	31	93	66	71	65
	Co-60	4	4				<0,82	<0,74
	I-131	4	0	91	120	110	110	100
	Cs-137	4	0	1,2	1,6	1,4	1,4	1,4
	Sr-90	2	0	1,3	1,7	1,5	1,5	1,3
	U-234	2	0	11	14	12	12	11
	U-235	2	0	0,42	0,56	0,49	0,49	0,51
	U-238	2	0	9,4	13	11	11	9,3
Brandenburg	K-40	32	0	22	150	89	99	90
	Co-60	32	32				<0,29	<0,26
	I-131	32	2	6,3	240	96	68	74
	Cs-137	32	1	0,7	4,3	2	1,7	1,5
	Sr-90	10	0	1,6	3,1	2,3	2	2,0
	U-234	10	0	14	31	20	19	19
	U-235	10	1	0,6	2	1	0,8	0,93
	U-238	10	0	13	30	19	18	18
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	52	170	100	110	100
	Co-60	20	20				<0,22	<0,26
	I-131	20	0	0,47	250	75	61	98
	Cs-137	20	0	0,39	4,3	1,9	1,9	1,5
	Sr-90	4	1	1,5	3,6	2,3	1,6	2,5
	U-234	4	0	8,8	25	17	17	15
	U-235	4	0	0,47	3,6	2,1	2,2	<1,1
	U-238	4	0	8,8	21	16	16	16
Sachsen	K-40	20	0	71	220	130	120	140
	Co-60	20	20				<0,61	<0,61
	Cs-137	20	0	0,86	6,5	2,4	1,5	1,9
	Sr-90	4	0	1,8	2,7	2,4	2,5	1,8
	U-234	4	0	52	86	68	67	74
	U-235	4	1	1	2,9	2,3	2,9	3,7
	U-238	4	0	50	80	63	62	64
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	88	370	180	160	150
	Co-60	20	20				<0,2	<0,23
	I-131	20	1	0,32	270	68	29	1,4
	Cs-137	20	0	1,3	11	3,6	2,6	2,4
	Sr-90	4	4				<5	<5
	U-234	4	0	130	130	130	130	110
	U-235	16	0	1,6	39	7,6	5,5	4,2
	U-238	19	0	20	280	92	97	89
Thüringen	K-40	20	0	130	400	220	210	200
	Co-60	20	20				<0,45	<0,51
	I-131	20	4	7,7	330	73	17	30
	Cs-137	20	0	1,1	4,8	2,7	2,6	3,0
	Sr-90	4	0	0,81	1,1	0,94	0,95	1,2
	U-234	4	0	51	160	110	110	82
	U-235	4	0	1,5	4,7	3,1	3,1	2,5
	U-238	4	0	29	87	59	60	46

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-wert[1]	Maximal-wert[1]	Mittel-/ Einzelwert[1]	Median	
		Gesamt	<NWG				2009	2008
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Bundesrepublik Deutschland	K-40	359	1	5,2	790	170	130	140
	Co-60	359	358	0,87	0,87		<0,56	<0,55
	I-131	331	19	0,32	1200	77	40	36
	Cs-137	359	32	0,39	98	5,8	2,7	3,0
	Sr-90	68	9	0,71	8,4	2	1,7	1,7
	U-234	68	0	6,6	250	52	31	27
	U-235	81	10	0,42	39	3,5	2	2,1
	U-238	83	0	6,1	280	49	32	30
Bundesrepublik Deutschland (Nord[2])	Co-60	327	326	0,87	0,87		<0,5	<0,52
	Cs-137	327	31	0,39	50	3,4	2,6	2,7
	Sr-90	64	9	0,71	8,4	2	1,7	1,7
Bundesrepublik Deutschland (Süd[3])	Co-60	32	32				<1,1	<1,2
	Cs-137	32	1	3,4	98	28	20	17
	Sr-90	4	0	1,1	3,8	2,4	2,3	2,1

1 Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet. Beim Median dagegen gehen die Nachweisgrenzen in die Berechnung ein

2 Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

3 Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

2.7 Abfälle
(Waste)

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abfällen, Abwasser und Klärschlamm wird auf Teil A - II - 2.7 verwiesen. Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2009 der Leitstelle Messwerte zu den Umweltmedien Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien, von Asche, Schlacke, festen und flüssigen Rückständen aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie für in den Handel gelangenden Kompost aus Kompostierungsanlagen mitgeteilt.

In Tabelle 2.7-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Cs-137, I-131, K-40 und H-3. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel unterschieden, da diese etwa die Grenze zwischen den durch den Unfall von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit für die sonstigen aufgeführten Radionuklide nicht besteht, wurden die Messwerte aus allen Ländern zusammengefasst ausgewertet.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** sind bei den höchsten Werten für Cs-137 kaum noch Unterschiede zwischen Nord- und Südbayern zu bemerken. Die Maximalwerte liegen bei 0,39 Bq/l bzw.0,45 Bq/l (2008: 0,32 Bq/l bzw. 0,54 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,054 Bq/l (2008: 0,061 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,17 Bq/l bis 69 Bq/l, der Median bei 15 Bq/l (2008: 0,26 bis 75 Bq/l, Median: 15 Bq/l).

H-3 wurde in 78% der untersuchten Proben mit Werten zwischen 5,4 und 240 Bq/l (2008: 5,4 bis 250 Bq/l) gefunden.

Bei den **Abfällen** der Verbrennungsanlagen ergibt sich folgendes Bild:

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel bei 340 Bq/kg TM (2008: 350 Bq/kg TM), für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt er bei 140 Bq/kg TM (2008: 110 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 160 Bq/kg TM bis 3.200 Bq/kg TM, der Median bei 920 Bq/kg TM (2008: 47 bis 3.800 Bq/kg TM, Median: 1.100 Bq/kg TM).

Co-60 wurde in je einer Probe aus Niedersachsen (0,26 Bq/kg TM) und Rheinland-Pfalz (1,1 Bq/kg TM) gemessen, im Jahr 2008 lagen alle Werte unter den gefundenen Nachweisgrenzen.

In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,22 Bq/kg TM bis 28 Bq/kg TM (2008: 0,26 bis 140 Bq/kg TM) nachgewiesen werden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt die maximale Aktivität von Cs-137 nördlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel 7,2 Bq/kg TM (2008: 8,4 Bq/kg TM). Der gemessene Wert südlich/östlich liegt bei 12 Bq/kg TM (2008: 4,1 bis 7,5 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 37 Bq/kg TM bis 1.900 Bq/kg TM (2008: 93 bis 1.900 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,25 Bq/kg TM bis 4,3 Bq/kg TM (2008: 0,40 bis 81 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegt der Median des Cs-137-Gehaltes für die Gebiete südlich/östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel bei 4,6 Bq/kg TM (2008: 2,8 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 4,1 Bq/kg TM (2008: 1,9 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 2,5 Bq/kg TM bis 2.500 Bq/kg TM (2008: 3,9 bis 1.400 Bq/kg TM) mit einem Median von 230 Bq/kg TM (2008: 97 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,10 Bq/kg TM bis 1.100 Bq/kg TM (2008: 0,18 bis 3.000 Bq/kg TM) ermittelt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Abwasser) liegt der ermittelte Wert für Cs-137 in den höher belasteten Gebieten unterhalb der gefundenen Nachweisgrenze (2008: alle Werte kleiner Nachweisgrenze), für das Gebiet der Bundesrepublik wurde ein Median von <0,10 Bq/l (2008: <0,10 Bq/l) berechnet.

I-131 wurde in 26 Proben mit Werten zwischen 0,045 Bq/l und 640 Bq/l (2008: 0,020 und 5.000 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 4,5 Bq/l (2008: 9,1 Bq/l). Dabei stammen die Proben mit den höchsten I-131-Werten aus dem Ablauf der Schwermetallfällung bei nasser Rauchgaswäsche.

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für die spezifische Aktivität des Cs-137 südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel Werte von 19 Bq/kg TM bis 50 Bq/kg TM (2008: 21 bis 53 Bq/kg TM) mit einem Median von 29 Bq/kg TM (2008: 21 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 1,8 Bq/kg TM und 18 Bq/kg TM (2008: 2,6 bis 16 Bq/kg TM), der Median liegt bei 5,9 Bq/kg TM (2008: 5,8 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 140 Bq/kg TM bis 860 Bq/kg TM, der Median bei 470 Bq/kg TM (2008: 40 bis 1.400 Bq/kg TM, Median: 440 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Die spezifische Cs-137-Aktivität des Kompostes liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. Bei einer Aufbringung von Kompost auf Gartenflächen wird bei Verwendung üblicher Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen Transfers von Cäsium über die Wurzel in die Pflanzen ist die resultierende zusätzliche Cs-Aktivität in gärtnerischen Produkten für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Gehalt an Cs-137 in Abfällen oft noch durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird, was durch die höheren Werte im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gegenüber den anderen Gebieten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 2.7-1 Überwachung Abfällen im Jahr 2009
(Monitoring of wastes in the year 2009)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [a]	Maximal-wert [a]	Mittel-werte [a]	Median 2009	Median 2008
Sickerwasser (Bq/l)								
Nördlich *	Cs-137	64	32	0,008	0,39	0,075	<0,046	<0,06
Südlich *	Cs-137	5	1	0,081	0,45	0,26	0,13	0,099
Alle Länder	K-40	69	4	0,17	69	17	15	15
	H-3	69	15	5,4	240	46	28	22
Filterstaub (Bq/kg TM)								
Nördlich *	Cs-137	47	0	0,64	140	18	13	19
Südlich *	Cs-137	4	0	180	340	270	280	300
Alle Länder	K-40	51	0	160	3.200	1.100	920	1.100
	Co-60	51	49	0,26	1,1		<0,28	
	I-131	47	24	0,22	28		<1,3	<0,99
Schlacke (Bq/kg TM)								
Nördlich *	Cs-137	65	3	0,15	7,2	2,4	1,6	1,5
Südlich *	Cs-137	4	0	3,5	12	6,4	5,3	6,8
Alle Länder	K-40	69	0	37	1.900	360	290	290
	I-131	63	54	0,25	4,3		<0,35	<0,36
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
Nördlich *	Cs-137	40	14	0,61	98	23	4,1	1,9
Südlich *	Cs-137	3	1	4,6	5,2	4,9	4,6	2,8

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [a]	Maximal-wert [a]	Mittel-werte [a]	Median 2009	Median 2008
Alle Länder	K-40	43	1	2,5	2500	510	230	97
	I-131	42	10	0,1	1100	91	5,3	4,0
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung / Prozesswasser (Bq/l)								
Nördlich *	Cs-137	31	21	0,082	0,66		<0,094	<0,1
Südlich *	Cs-137	2	2				<0,1	<0,086
Alle Länder	K-40	33	10	0,56	34	11	2,8	5,4
	I-131	33	7	0,045	640	71	4,5	9,1
Kompost (Bq/kg TM)								
Nördlich *	Cs-137	71	0	1,8	18	6,4	5,9	5,8
Südlich *	Cs-137	6	0	19	50	32	29	21
Alle Länder	K-40	77	0	140	860	470	470	440

* Nördlich/westlich und südlich/östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

a Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet

2.8 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung *(Monitoring of incorporation among the population)*

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cs-137- und Cs-134- Aktivität durchgeführt, wobei ab dem Jahr 1998 kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden konnte. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 2.8-1 und 2.8-2 zusammengefasst und in den Abbildungen 2.8-1 bis 2.8-4 dargestellt. Unter „Jahresmittelwert" wird hier der Mittelwert über die Monate, in denen Messwerte vorliegen, verstanden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS am Standort Neuherberg für die Referenzgruppe München sowie der Messstelle am Forschungszentrum Karlsruhe. Die übrigen Messstellen verfolgen nicht mehr regelmäßig ihre Referenzgruppen. Ein Trend für den Gehalt an radioaktivem Cäsium im Körper kann nicht mehr angegeben werden, da fast alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

In den Abbildungen 2.8-5 und 2.8-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen an verschiedenen Orten in Deutschland, getrennt für Frauen und Männer, zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium angegeben. Dieser Doswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die 23 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,22 mSv.

Tabelle 2.8-1 Jahres- und Monatsmittelwerte für den Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area)

Messstelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Leitstelle Inkorporationsüberwachung

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1995	248	46	1,04	277	54	1,28
1996	282	47	0,93	289	56	1,06
1997	304	44	0,72	332	54	0,85
1998	316	45	0,61	265	52	0,67
1999	290	56	< 1,4	255	61	< 1,2
2000	265	58	< 1,6	242	63	< 1,2
2001	362	57	< 1,4	236	62	< 1,1
2002	367	57	< 1,3	245	62	< 1,1
2003	419	57	< 1,3	274	63	< 1,1
2004	398	56	< 1,4	278	62	< 1,1
2005	444	55	< 1,3	299	61	< 1,1
2006	456	55	< 1,4	314	61	< 1,1
2007	387	54	< 1,3	292	59	< 1,1
2008	421	49	< 1,15	339	54	< 0,9
2009	432	49	< 1,2	353	53	0,9
Monatsmittelwerte für 2009						
Januar	36	45	< 1,2	32	49	< 0,9
Februar	37	45	< 1,2	30	51	< 0,9
März	37	49	< 1,2	32	52	< 1,0
April	38	50	< 1,2	35	55	< 1,0
Mai	35	51	< 1,2	27	53	< 0,9
Juni	33	50	< 1,2	23	54	< 1,0
Juli	36	50	< 1,2	29	51	< 0,9
August	34	53	< 1,2	23	56	< 0,9
September	42	51	< 1,2	30	55	< 0,9
Oktober	38	50	< 1,2	36	52	< 0,9
November	34	49	< 1,3	30	51	< 0,9
Dezember	32	49	< 1,2	26	51	< 0,9

Tabelle 2.8-2 Jahres- und Monatsmittelwerte für den Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)

Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 [a]	36	49	< 0,21	38	57	< 0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	< 0,21	118	63	< 0,24
1999	110	51,5	< 0,23	115	61	< 0,27
2000	109	51	< 0,16	106	60	< 0,27
2001	94	52	< 0,20	101	61	< 0,31
2002	86	50	0,22	86	60	0,31
2003	56	52	0,20	54	59	0,31
2004	62	53	0,24	56	61	0,32
2005	41	52	0,16	35	57	0,26
2006	19	41	0,17	18	44	0,21
2007	83	49	0,06	73	62	0,12
2008	81	48	0,07	69	64	0,15
2009	72	48	0,11	96	64	0,17
Monatsmittelwerte für 2009						
Januar	8	49	0,13	6	68	0,22
Februar	5	51	0,14	4	62	0,54
März	8	47	0,09	10	64	0,08
April	6	45	0,01	8	62	0,11
Mai	7	50	0,07	7	68	0,09
Juni	6	46	0,07	9	61	0,08
Juli	6	49	0,11	7	57	0,10
August	7	47	0,02	11	63	0,14
September	4	45	0,11	9	64	0,15
Oktober	7	49	0,21	8	64	0,27
November	5	47	0,16	10	65	0,13
Dezember	3	52	0,18	7	65	0,12

a Mai 1996 keine Messungen

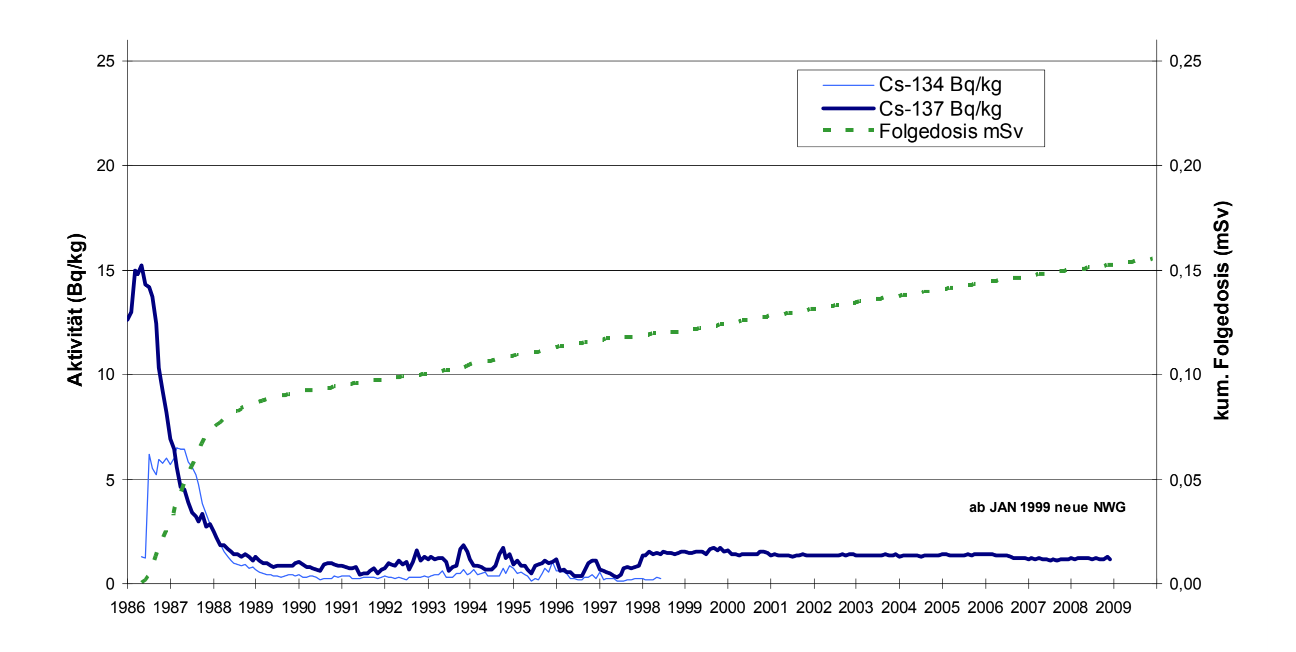


Abbildung 2.8-1 **Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: BfS-München, Frauen**

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: BfS Munich, women)

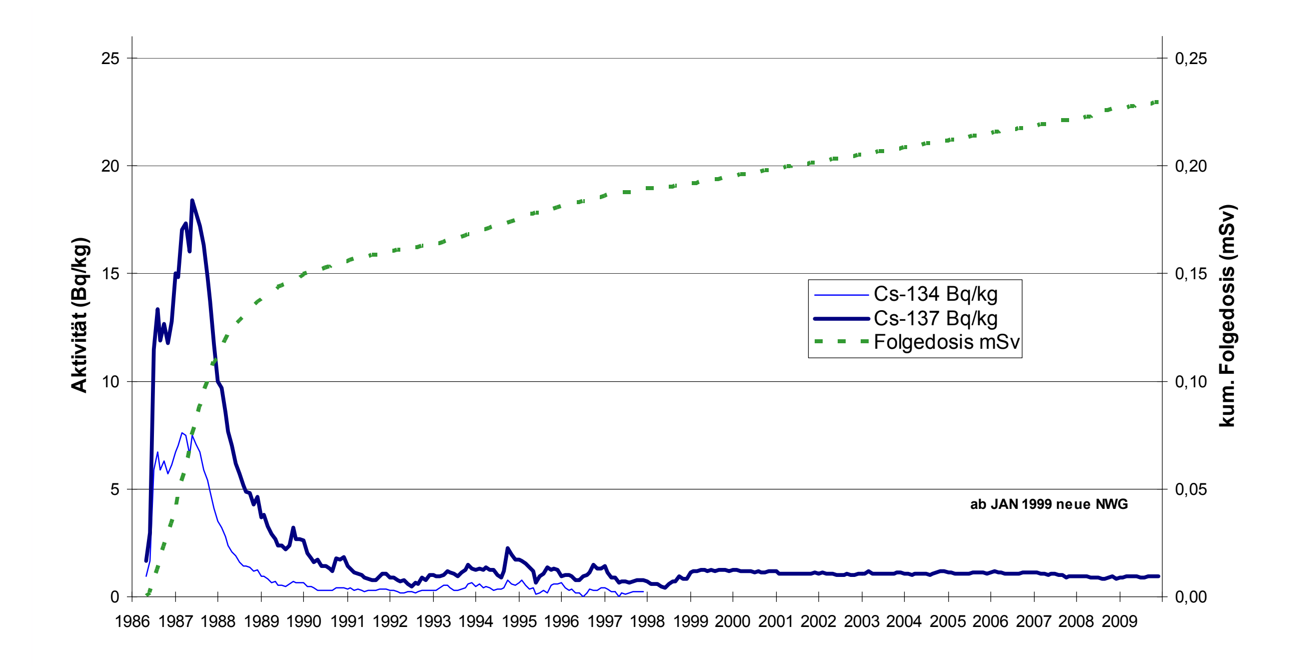


Abbildung 2.8-2 **Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: BfS-München, Männer**

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: BfS Munich, men)

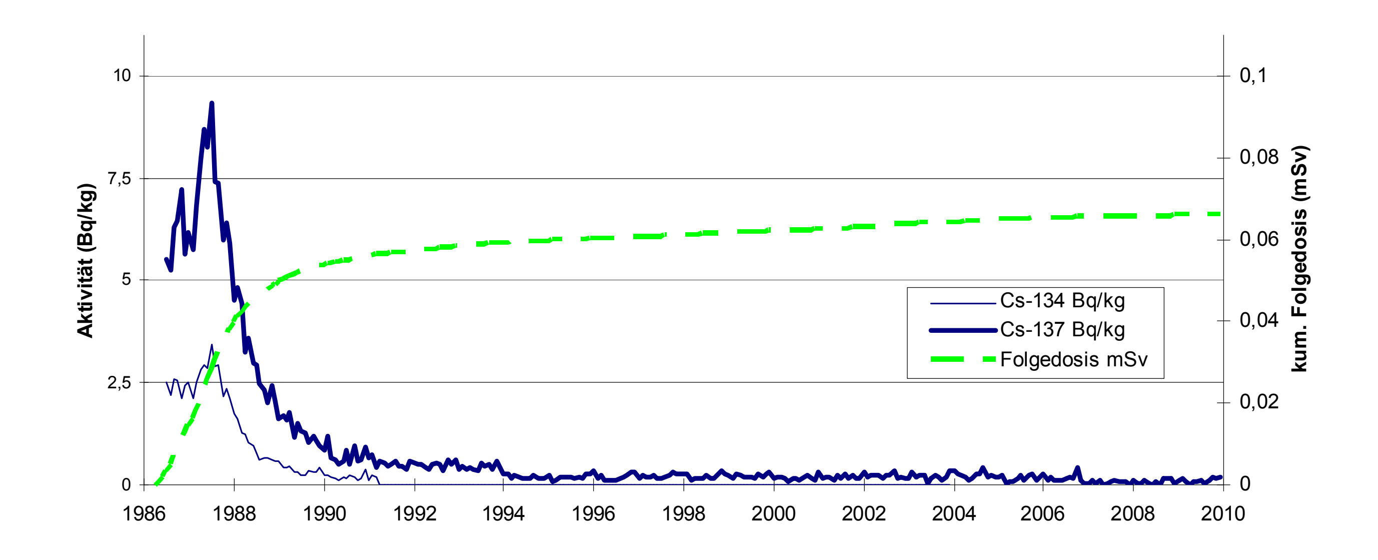


Abbildung 2.8-3 **Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen**

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: Karlsruhe, women)

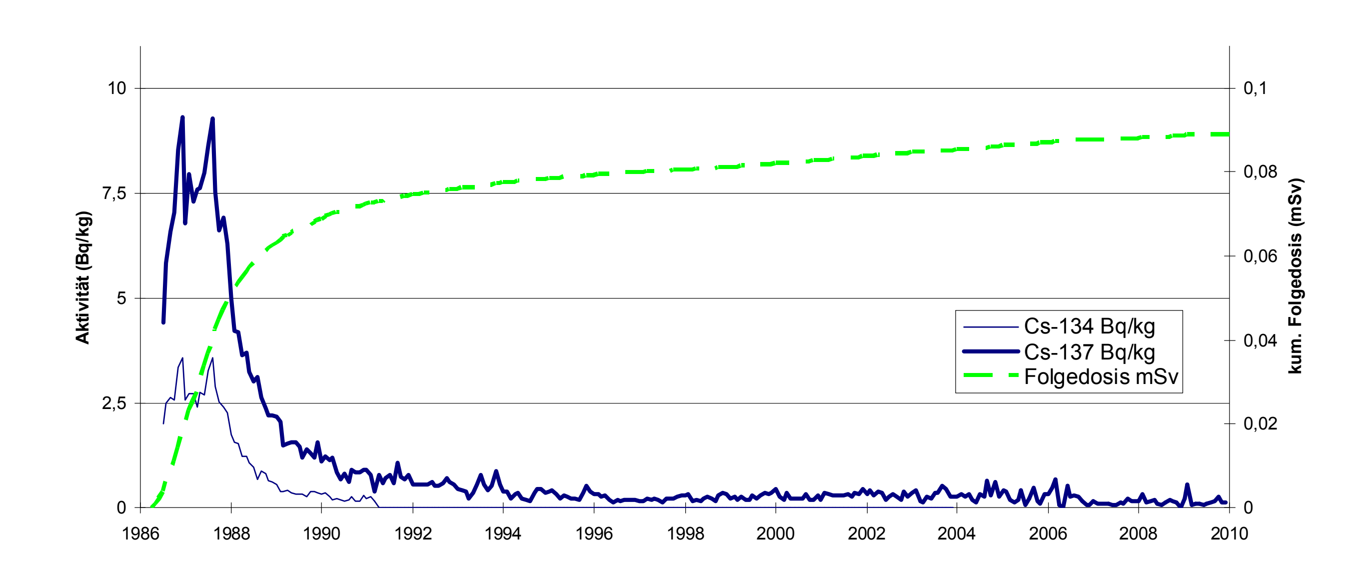


Abbildung 2.8-4 **Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer**

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: Karlsruhe, men)

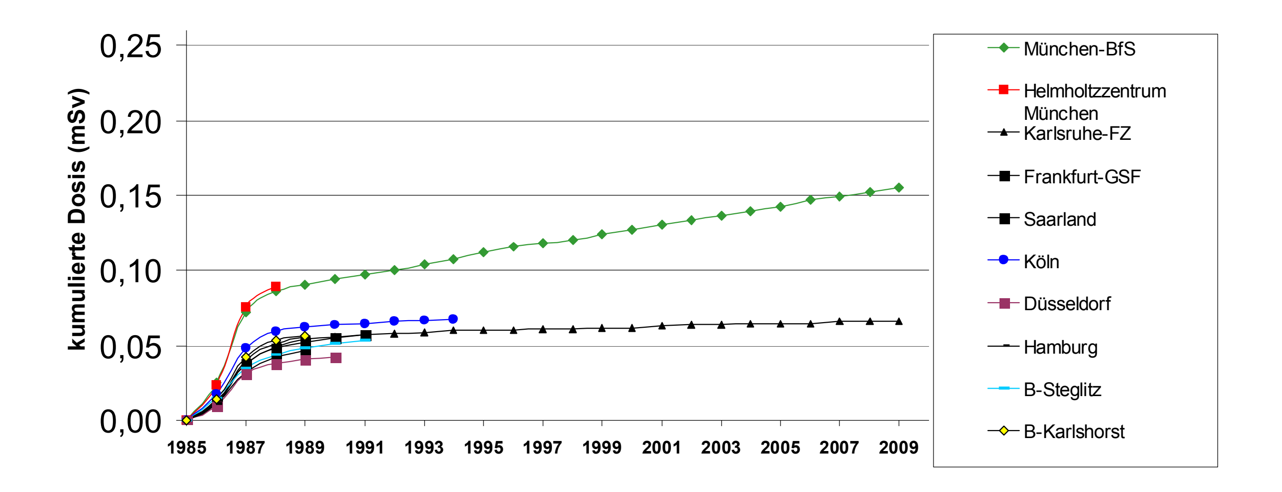


Abbildung 2.8-5 **Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium Vergleich der Referenzgruppen: Frauen**

(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium Comparison of reference groups: women)

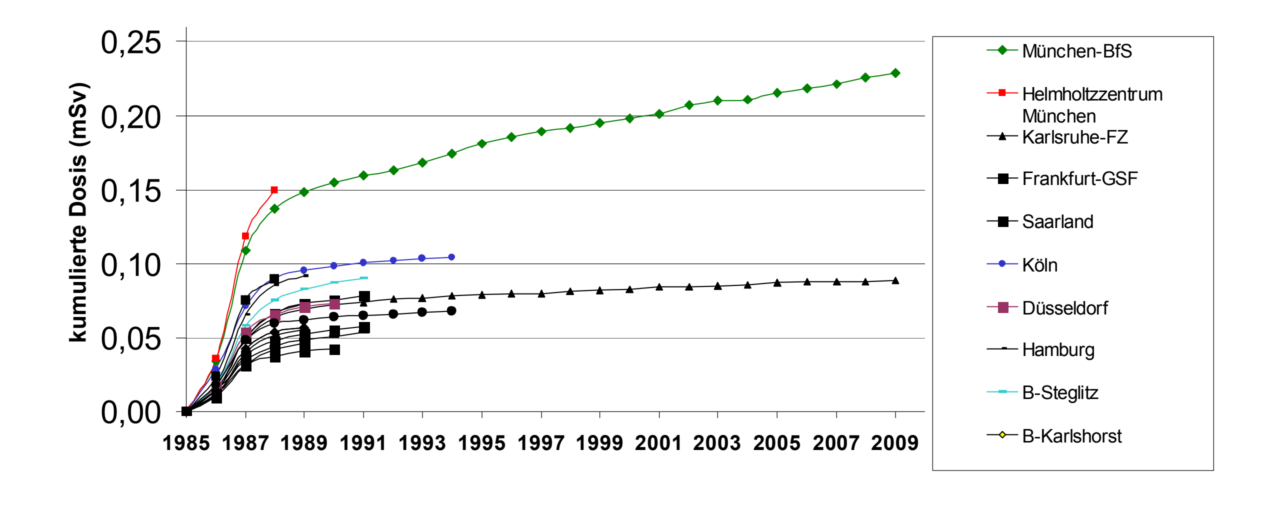


Abbildung 2.8-6 **Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium Vergleich der Referenzgruppen: Männer**

(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium Comparison of reference groups: men)

Teil B

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Personendosisüberwachung
(Monitoring of personal dose)

1.1 Dosimeterüberwachte Personen
(Monitoring with personal dosimeters)

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen - mit Ausnahme der kosmischen Strahlung (siehe 2. Überwachung des fliegenden Personals) - besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Nicht immer führt die Ausgabe eines Dosimeters an eine überwachte Person zu einer Dosisermittlung durch eine Messstelle (Dosimeter gehen verloren oder werden beschädigt, Filmplaketten werden falsch eingelegt oder außerhalb der Kassette bestrahlt, u. a. m.). Wenn aus solchen Gründen die zuständige Messstelle für eine Person im Überwachungszeitraum keine Dosis ermitteln kann, dann teilt sie dies der zuständigen Aufsichtsbehörde mit. Diese kann dann anhand definierter Kriterien und unter Berücksichtigung der Expositionsumstände eine amtliche Ersatzdosis festsetzen. Es kommt auch vor, dass nach einer Dosisfeststellung eine Nachprüfung der Expositionsumstände veranlasst wird, weil z. B. die Überprüfungsschwelle von 5 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitskittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis, sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Sofern in solchen Fällen Ersatzdosiswerte festgesetzt und dem Strahlenschutzregister mitgeteilt wurden, sind sie in Angaben der Tabellen und Grafiken berücksichtigt.

Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, ist der Tabelle 1.1-1 zu entnehmen. Da 77% der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches „Medizin“ gesondert ausgewiesen.

Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis nach § 55 und 56 StrlSchV und § 31a und 31b RöV bei den beruflich strahlenschutzüberwachten Personen zu kontrollieren. Der Grenzwert der effektiven Dosis beträgt 20 mSv im Kalenderjahr und gilt für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen; ausgenommen sind Jugendliche und Schwangere, für die strengere Grenzwerte gelten. Der Grenzwert von 20 mSv wurde im Jahr 2009 von 16 Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,005% (Tabelle 1.1-2).

Die Zusammenstellung der Fälle mit Jahrespersonendosen über 20 mSv gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition aller Überwachten vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im Kalenderjahr. Die Dosisanteile durch natürliche externe Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 1.1-3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres die Personendosis unterhalb der Erkennungsgrenze lag, bzw. Jahrespersonendosen zwischen 0,1 und 0,2 mSv, zwischen 0,2 und 0,4 mSv usw. registriert wurden. Liegt die Strahlenexposition während des ganzen Jahres unterhalb der unteren Erkennungsgrenze für Ganzkörperdosimeter von 0,05 mSv, dann wird für die überwachte Person eine Jahrespersonendosis von 0 mSv festgelegt. Dies traf für den größten Teil der überwachten Personen zu. Eine messbare berufliche Strahlenexposition erhielten deshalb nur 15% aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Ist vorauszusehen, dass im Kalenderjahr die Teilkörperdosis für die Hände, die Haut oder die Augenlinse festgelegte Dosiswerte überschreiten kann, so ist die Dosis für diese Körperteile durch weitere Dosimeter festzustellen. Diese Überwachung wurde im Jahr 2009 für die Hände bei ca. 21.000 Personen durchgeführt. Von diesen 21.000 Überwachten wiesen ca. 6.000 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter). Im Jahr 2009 kam es zu einer Überschreitung von Grenzwerten für die Teilkörperdosis.

Tabelle 1.1-4 enthält Zeitreihen über die mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2009 betrug 0,13 mSv. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil an Personen zurückzuführen, die zwar regelmäßig überwacht werden, aber keiner Strahlenexposition ausgesetzt sind. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 51.000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,84 mSv.

Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2009 betrug die Jahreskollektivdosis aller überwachten Personen 43 Personen-Sv (Vorjahr 46 Personen-Sv).

Tabelle 1.1-1 **Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2009**
(Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich)
(Monitoring with official personal dosemeters in the year 2009)
(Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	**Medizin**	**Gesamt**	**Medizin**
Baden-Württemberg	45.074	32.070	2.912	2.278
Bayern	63.161	46.210	4.157	3.410
Berlin	16.428	12.217	1.003	778
Brandenburg	6.512	5.419	476	355
Bremen	3.420	2.838	231	168
Hamburg	9.959	6.757	559	420
Hessen	26.098	18.472	1.600	1.262
Mecklenburg-Vorpommern	5.503	4.017	338	259
Niedersachsen	30.643	24.011	2.229	1.813
Nordrhein-Westfalen	72.495	58.056	5.060	4.242
Rheinland-Pfalz	15.812	13.295	996	840
Saarland	4.781	4.417	391	343
Sachsen	13.385	10.812	887	637
Sachsen-Anhalt	7.858	6.504	521	374
Schleswig-Holstein	11.539	8.740	797	666
Thüringen	6.491	6.091	383	331
Bundeswehr	1.248	1.066	47	35
Gesamtzahl 2009*	333.680	257.442	22.499	18.177
Anteil Medizin		77%		81%
Gesamtzahl 2008**	324.913	250.594	23.490	18.969
Anteil Medizin		77%		81%
Änderung gegenüber 2008	2,7%	2,7%	-4,2%	-4,2%

* Die Summen über die einzelnen Bundesländer sind größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Tabelle 1.1-2 **Anzahl der Personen mit Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2009**
(Number of persons with annual personal doses above 20 mSv in the year 2009)

Bundesland	Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich		
	Gesamt	**Medizin**	**Nichtmedizin**
Baden-Württemberg	6	4	2
Bayern			
Berlin			
Brandenburg			
Bremen			
Hamburg			
Hessen	2		2
Mecklenburg-Vorpommern	1	1	
Niedersachsen			
Nordrhein-Westfalen	3		3
Rheinland-Pfalz	8	5	3
Saarland			
Sachsen	1		1
Sachsen-Anhalt	1		1
Schleswig-Holstein			
Thüringen			
Gesamtzahl 2009*	**16**	**6**	**10**
Bezogen auf Überwachtenzahl 2009	0,005%	0,002%	0,013%

Bundesland	Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Gesamtzahl 2008**	**14**	**6**	**8**
Bezogen auf Überwachtenzahl 2008	0,004%	0,002%	0,011%

* Die Summen über die einzelnen Bundesländer sind größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Tabelle 1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2009
(Distribution of the annual personal doses in the year 2009)

Dosis H in mSv	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	282.818	85%	225.135	87%	58.128	76%
0<H≤0,2	26.368	93%	19.824	95%	6.608	84%
0,2<H≤0,4	7.165	95%	4.796	97%	2.381	87%
0,4<H≤0,6	3.555	96%	2.178	98%	1.383	89%
0,6<H≤0,8	2.432	97%	1.407	98%	1.030	91%
0,8<H≤1,0	1.759	97%	1.038	99%	724	91%
1<H≤2	4.365	98%	1.991	< 100%	2.378	95%
2<H≤4	2.920	99%	789	< 100%	2.134	97%
4<H≤6	1.031	< 100%	173	< 100%	859	98%
6<H≤8	584	< 100%	52	< 100%	533	99%
8<H≤10	295	< 100%	27	< 100%	269	< 100%
10<H≤15	332	< 100%	24	< 100%	309	< 100%
15<H≤20	40	< 100%	2	< 100%	38	< 100%
H>20	16	100%	6	100%	10	100%
Gesamt *	**333.680**		**257.442**		**76.784**	

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Personen in beiden Bereichen arbeiten kann

Tabelle 1.1-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual personal dose and annual collective dose of the persons monitored with personal dosemeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv
1999	0,17	53	0,08	19	0,45	34
2000	0,15	48	0,07	18	0,40	30
2001	0,14	44	0,07	16	0,36	27
2002	0,15	48	0,07	18	0,41	30
2003	0,14	44	0,07	17	0,37	27
2004	0,14	42	0,07	16	0,35	26
2005	0,15	46	0,07	17	0,39	29
2006	0,13	41	0,07	17	0,33	24
2007	0,14	46	0,07	18	0,38	28
2008**	0,14	46	0,08	20	0,36	27
2009	0,13	43	0,06	14	0,37	28

Daten: Stand Juni 2010

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1986 ist in Abbildung 1.1-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Anzahl der Personen mit Jahresdosen über 20 mSv dargestellt. Abbildung 1.1-2 zeigt die Jahreskollektivdosis

in den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin über den Zeitraum von 1986 - 2009. Bis einschließlich 1998 basieren die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Bis dahin entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da Arbeitskräfte die bei einem Arbeitsplatzwechsel auch die Messstelle wechselten mehrfach gezählt wurden. Seit dem Jahr 1999 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

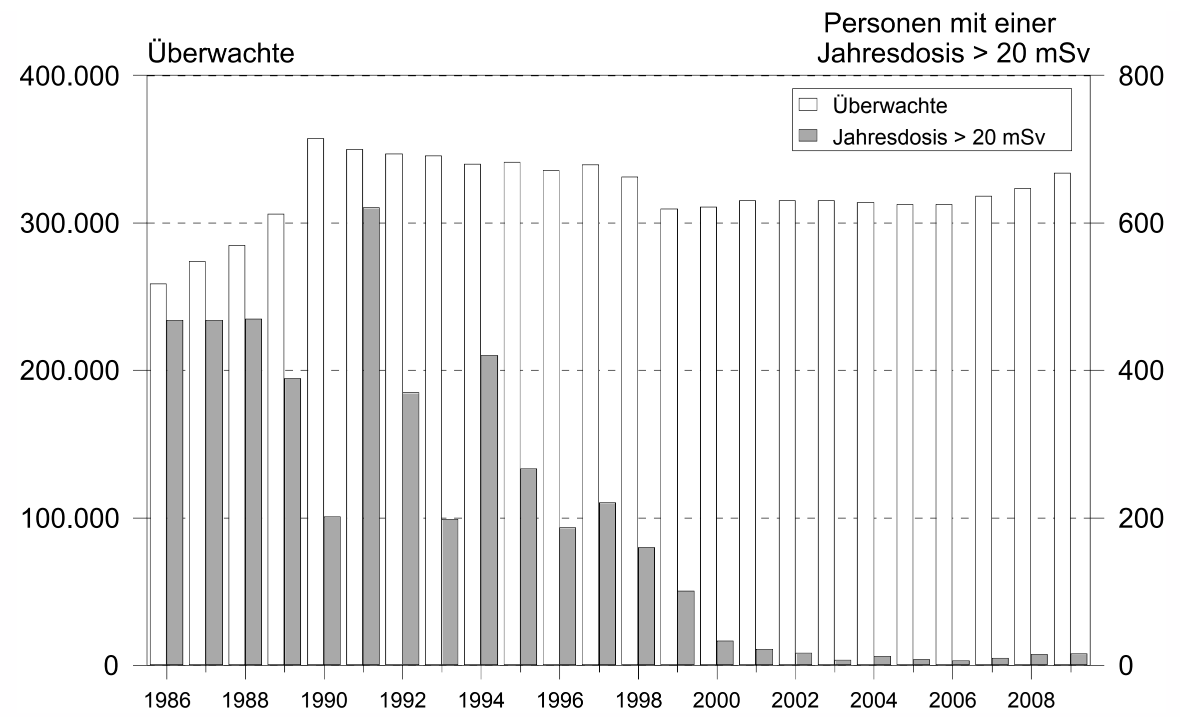


Abbildung 1.1-1: **Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv** (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer, ab 1999 ohne Mehrfachzählungen der Messstellen – siehe Text)
(Number of persons monitored with dosimeters and persons with annual personal doses above 20 mSv *- as from 1990 including the new federal states*)

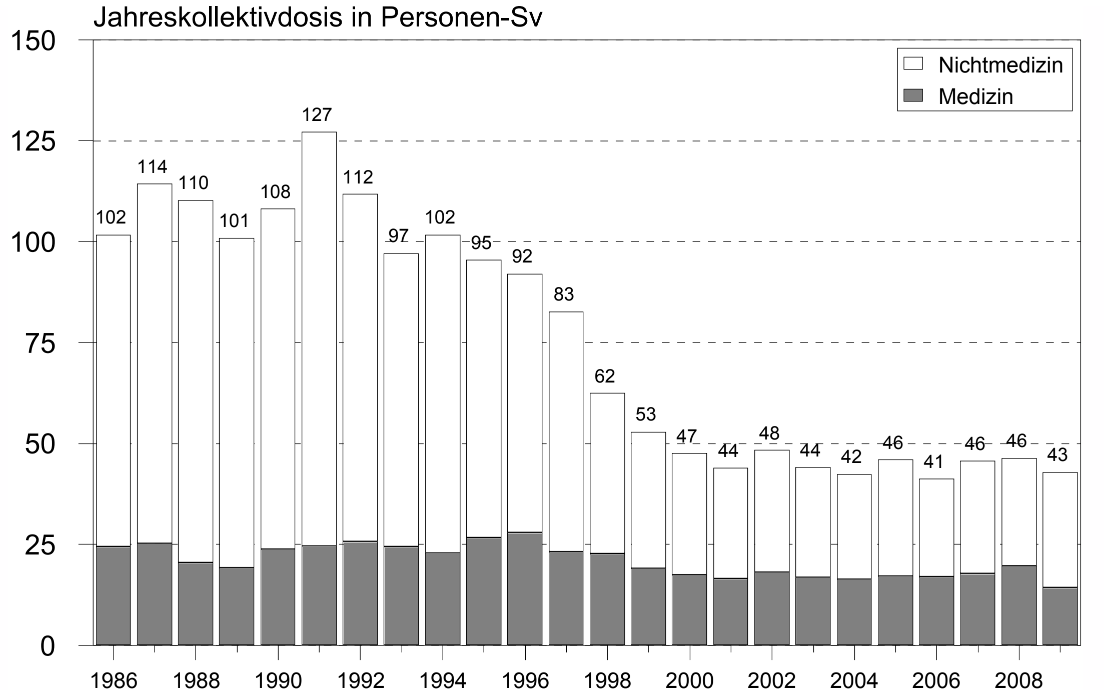


Abbildung 1.1-2: **Jahreskollektivdosis in medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereichen** (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)
(Annual collective dose in medical and non-medical work sectors - *as from 1990 including the new federal states*)

1.2 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen
(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)

Eine wichtige Teilgruppe der mit Personendosimetern Überwachten ist das Eigen- und Fremdpersonal in kerntechnischen Anlagen. Grundlage für die folgende Übersicht sind regelmäßige Erhebungen über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen durch das BMU und die zuständigen obersten Landesbehörden sowie Erhebungen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS). Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Forschungsreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 1.2-1 bis 1.2-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis. Schwankungen bei der Jahreskollektivdosis hängen überwiegend mit Änderungen bei der Anzahl des eingesetzten Fremdpersonals zusammen. In den Jahren mit vermehrten Revisionen wird verstärkt Fremdpersonal eingesetzt, das dosisintensive Wartungsarbeiten durchführt. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2009 bei Beschäftigten in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf.

In den Tabellen 1.2-1 bis 1.2-3 ist die Jahreskollektivdosis nur für Photonen angegeben, da die Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler nur in wenigen Fällen von Bedeutung sind. Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen.

Tabelle 1.2-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)

Jahr**	Zahl der Anlagen	Erzeugte Energie [TWh]	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
			Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
1999	19	170	28.790	22.066	25	21
2000	19	170	30.386	23.239	21	18
2001	19	171	28.105	21.861	20	17
2002	19	165	28.626	21.738	21	18
2003	19	165	28.677	22.384	19	17
2004	18	167	28.777	22.972	18	15
2005	18	163	30.222	24.118	21	18
2006	17	167	30.312	25.060	17	15
2007	17	141	30.099	25.072	18	16
2008	17	149	30.081	24.199	14	13
2009	17	135	30.238	24.346	15	13

Daten: Stand Juni 2010

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Tabelle 1.2-2 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb und der Stilllegung von Forschungsreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation and decommissioning of research reactors)

Jahr**	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
1999	10	2.366	1.347	1,1	0,6
2000	10	2.104	1.150	1,2	0,6
2001	10	2.234	1.270	0,9	0,5
2002	9	1.746	907	0,4	0,3
2003	10	1.986	1.043	0,3	0,3
2004	10	2.215	1.278	0,3	0,2
2005	10	2.331	1.359	0,2	0,1
2006	10	2.413	1.322	0,3	0,1
2007	10	2.410	1.320	0,3	0,1
2008	10	2.449	1.354	0,3	0,1
2009	10	2.543	1.485	0,3	0,1

Daten: Stand Juni 2010

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Tabelle 1.2-3 Berufliche Strahlenexposition bei der Brennelementherstellung und Wiederaufarbeitung einschließlich Rückbau der Anlagen
(Occupational radiation exposure during the production of fuel elements and reprocessing including decommissioning of the plants)

Jahr**	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
1999	6	1.338	773	0,3	0,1
2000	6	2.524	1.582	1,0	0,5
2001	6	2.392	1.501	1,2	0,7
2002	7	2.968	1.932	1,2	0,8
2003	7	2.983	1.970	1,0	0,7
2004	7	2.726	1.831	1,1	0,8
2005	7	2.339	1.623	0,5	0,4
2006	6	1.573	977	0,3	0,3
2007	5	1.319	776	0,1	0,1
2008	5	1.315	773	0,1	0,1
2009	5	1.312	770	0,1	0,1

Daten: Stand Juni 2010

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

2. Überwachung des fliegenden Personals
(Aircraft crew monitoring)

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogrammen die Dosiswerte der kosmischen Strahlenexposition, ordnen diese personenbezogen ihrem Personal zu und geben diese über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter.

In Deutschland wurden im Jahr 2009 36.169 Personen (Vorjahr: 37.058) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,4 mSv (Vorjahr 2,3 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 7,0 mSv. Die Verteilung ist in Tabelle 2-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2009 beträgt ca. 86 Personen-Sv. Der Anstieg der Kollektivdosis von 84 auf 86 Personen-Sv erfolgte auf Grund der gestiegenen Höhenstrahlung. Der Anstieg der Höhenstrahlung hat eine natürliche Ursache und hängt mit der Änderung der Sonnenaktivität zusammen, die in einem elfjährigen Zyklus zu- und abnimmt. Das fliegende Personal zählt sowohl bezüglich der mittleren Jahresdosis als auch bezüglich der Kollektivdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands.

Tabelle 2-1 Verteilung der effektiven Jahresdosis des fliegenden Personals im Jahr 2009
(Distribution of the annual effective dose of aircraft crews in the year 2009)

Dosis E in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
E=0	208	< 1%
0 <E≤0,5	2.459	7%
0,5 <E≤1,0	3.180	16%
1,0 <E≤2,0	9.004	41%
2,0 <E≤3,0	9.194	66%
3,0 <E≤4,0	8.296	89%
4,0 <E≤5,0	3.517	99%
5,0 <E≤6,0	280	< 100%
6,0 <E≤10,0	31	100%
E>10,0	0	100%
Gesamt	36.169	

Tabelle 2-2 Anzahl des fliegenden Personals sowie mittlere effektive Jahresdosis und Jahreskollektivdosis
(Number of aircraft crew personnel including mean annual effective dose and annual collective dose)

Jahr**	Anzahl der Personen	Mittlere effektive Jahresdosis in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv
2004	29.849	2,0	58
2005	31.224	2,0	62
2006	32.549	2,2	71
2007	35.025	2,3	80
2008	37.058	2,3	84
2009	36.169	2,4	86

Daten: Stand Juni 2010

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition
(Monitoring of radon enhanced workplaces)

An Personen, bei denen am Arbeitsplatz erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche Strahlungsquellen auftreten können, ist eine Überwachung durchzuführen. Dies betrifft z. B. untertägige Bergwerke, Schauhöhlen und Anlagen der Wassergewinnung. Nach § 95 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenbelastung durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2). Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen, ist die Körperdosis zu ermitteln. Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues ausführen, werden die Daten der Körperdosis auf der Grundlage der Regelungen des § 118 Abs. 2 Satz 1 ermittelt.

Für Beschäftigte der Wismut GmbH werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch Gammastrahlung verursachte Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Messgeräten durchgeführt. Diese Messgeräte erfassen die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Gammastrahlung. Für Beschäftigte, die Arbeiten nach Anlage XI der StrlSchV ausführen, wird die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt. Hierzu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen charakteristische Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden.

Auf Grund dieser Regelungen wurden im Jahr 2009 dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz für 315 Personen (Vorjahr: 303 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen Personen führten 71% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 315 Beschäftigten betrug 1,2 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 3,8 mSv (Vorjahr: 2,0 mSv). Alle Beschäftigten wiesen eine messbare Jahrespersonendosis auf. Im Jahr 2009 gab es während Sanierungsarbeiten in einem Betrieb der Wasserversorgung 6 deutliche Überschreitungen (2008: eine Überschreitung) des Grenzwertes von 20 mSv. Darüberhinaus kam es in einem Wasserwerk zu zwei Überschreitungen mit jeweils 21 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 103 mSv (Vorjahr: 35 mSv). Bei 27 Beschäftigten wurde eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der effektiven Jahresdosis 1,1 mSv, der höchste Jahrespersonendosiswert lag bei 4,7 mSv (Vorjahr identische Werte).

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen
(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2002 begannen behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Von den meldenden Messstellen wurden im Jahr 2009 1.354 Personen überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,03 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation betrug 10,7 mSv.

Tabelle 4-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2009
(Distribution of the annual personal doses due to incorporation in the year 2009)

Dosis E durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
E=0	1.278	94%
0 <E≤0,2	56	99%
0,2 <E≤1,0	17	< 100%
1,0 <E≤6,0	2	< 100%
6,0 <E≤20,0	1	< 100%
E>20,0	0	100%
Gesamt	**1.354**	

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen
(Diagnostic applications of radiation)

1.1 Röntgendiagnostik
(X-ray diagnostics)

Für die Auswertung wurden aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis in Deutschland sowie die Ergebnisse neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich, Erhebung zur Differenzierung von nicht eindeutig definierten Leistungsziffern, sog. Sammelpositionen; siehe Teil A), sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch die kontinuierliche Aktualisierung von Modellannahmen erhöhte sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich vereinfachende und teilweise sehr konservative Annahmen nunmehr sukzessive durch valide Schätzungen ersetzt wurden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten geringfügig abweichende Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellanpassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können. Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis bzw. der mittleren effektiven Dosis pro Kopf wird über den betrachteten Zeitraum bis einschließlich 2006 für konventionelle Röntgenuntersuchungen jeweils eine konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen. Angesichts der großen Variabilitäten zwischen verschiedenen Anwendern von Röntgenstrahlung stellt dies nach den bisherigen Erfahrungen ein sinnvolles Prozedere dar. Für CT-Untersuchungen wurde ein Modell verwendet, welches eine variable Dosis über den Zeitraum bis einschließlich 2006 postuliert. Damit wird es möglich, die rasante technische Entwicklung auf dem Gebiet der CT (insbesondere die Zunahme von Mehrschichtsystemen) zu berücksichtigen. Ab 2007 fließen in die Abschätzung Dosiswerte ein, die für häufige und/oder dosisintensive Röntgenuntersuchungen von den Ärztlichen Stellen (ÄS) für den aktuellen Zeitraum regelmäßig zum Zweck der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte an das BfS übermittelt werden.

In Tabelle 1.1-1 sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren größtenteils auf diesen von den ÄS für die Jahre 2007 bis 2009 an das BfS übermittelten Dosiswerten, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, und auf Literaturangaben. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patienten durchgeführten Untersuchungen ermittelt wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten „Normalpatienten“.

Tabelle 1.1-1 Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen
(Ranges of effective doses for frequently applied x-ray diagnostic procedures)

Untersuchungsart	Effektive Dosis in mSv
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedmaßen)	< 0,01 - 0,1
Schädelaufnahme a.p.	0,03 - 0,06
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,04
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 - 0,4
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,2 - 0,5
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 - 1,1
Beckenübersicht	0,3 - 0,7
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,3 - 0,7
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	4 - 8
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	5 - 12
Galle	1 - 8
Harntrakt	2 - 5
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 - 0,7
Angiographie und Interventionen	10 - 30
CT-Untersuchungen *	
Hirnschädel	1,7 - 2,3
Lendenwirbelsäule	4,8 - 8,7
Brustkorb (Thorax)	4,2 - 6,7
Bauchraum (Abdomen)	8,8 - 16,4

* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Auswertung der Jahre 1996 bis 2008 – Untersuchungshäufigkeit

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards – alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität notwendig sind. So wird z. B. bei einer Angiographie am Herzen nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Für die Jahre 2007 und 2008 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 135 bzw. 136 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 85 bzw. 86 Mio. Röntgenuntersuchungen). Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland nahm während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2008 insgesamt ab. Allerdings ist für die Jahre 2007 und 2008 ein leichter Anstieg zu verzeichnen, der im Wesentlichen auf die Einführung des Mammographie-Screening-Programms in Deutschland und der damit einhergehenden Zunahme der Mammographien im ambulanten kassenärztlichen Bereich zurückzuführen ist. Der Wert für die Gesamthäufigkeit für die Jahre 2007 und 2008 liegt im Mittel bei etwa 1,65 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr (siehe Abbildung 1.1-1). Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik (Zähne und Kiefer) beläuft sich nahezu konstant auf etwa 0,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr, was ca. einem Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen entspricht. Neben den Röntgenuntersuchungen im zahnmedizinischen Bereich entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d. h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (Brustkorb, siehe Abbildung 1.1-3).

In der Trendanalyse ist die stetige Zunahme der Computertomographie(CT)-Untersuchungen am auffälligsten – insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 1996 und 2008 mehr als verdoppelt (siehe Abbildung 1.1-1). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken, wie z. B. der Spiral-CT, im klinischen Bereich wider. Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den „alternativen“ bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie (MRT, siehe Abbildung 1.1-1 und Kapitel 1.4).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Schädels, des Thorax, der Wirbelsäule und des Bauchraumes einschließlich des oberen Magen-Darm-Trakts, des Gallesystems und des Urogenitaltrakts abgenommen.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2008 – Kollektive effektive Dosis

Die mittlere effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für die Jahre 2007 und 2008 auf ca. 1,6 mSv bzw. 1,7 mSv. Die im Vergleich zu den Vorjahren 2004 bis 2006 geringfügig niedrigeren Werte resultieren aus der Berücksichtigung der von den Ärztlichen Stellen gemeldeten Dosiswerte für 2007 und 2008. Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2008 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen (siehe Abbildung 1.1-2). Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2008 deutlich ab (siehe Abbildung 1.1-2).

Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich interventioneller Maßnahmen) tragen weniger als 10% zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2008 jedoch etwa drei Viertel (siehe Abbildung 1.1-3).

Röntgenuntersuchungen **CT- und MRT-Untersuchungen**

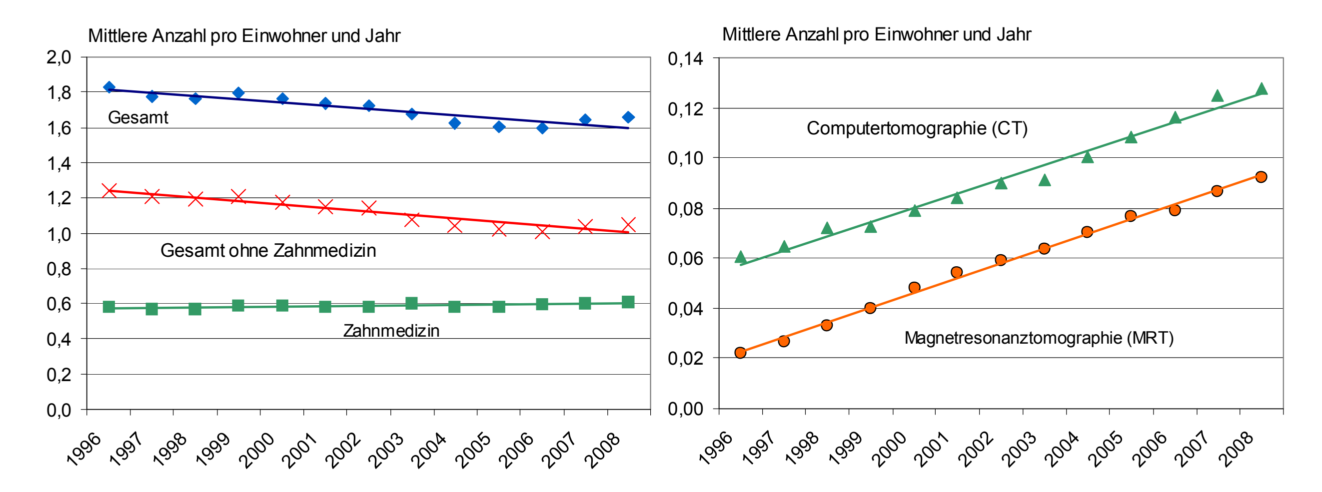


Abbildung 1.1-1 Häufigkeit von Röntgen- und CT- / MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray and of CT / MRT examinations in Germany)

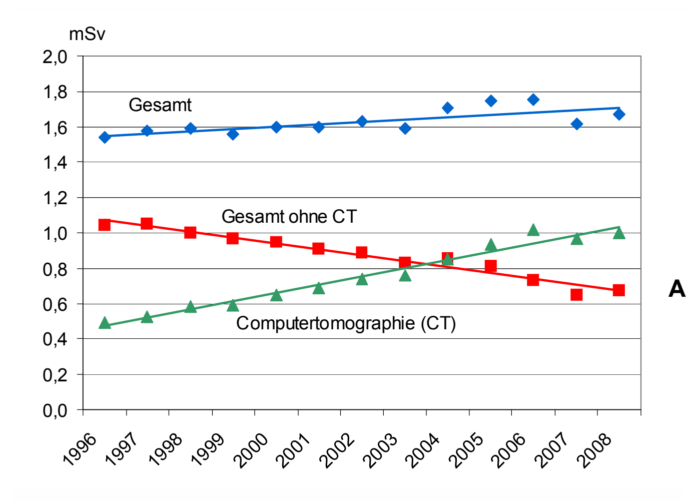


Abbildung 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose per capita (mSv) and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

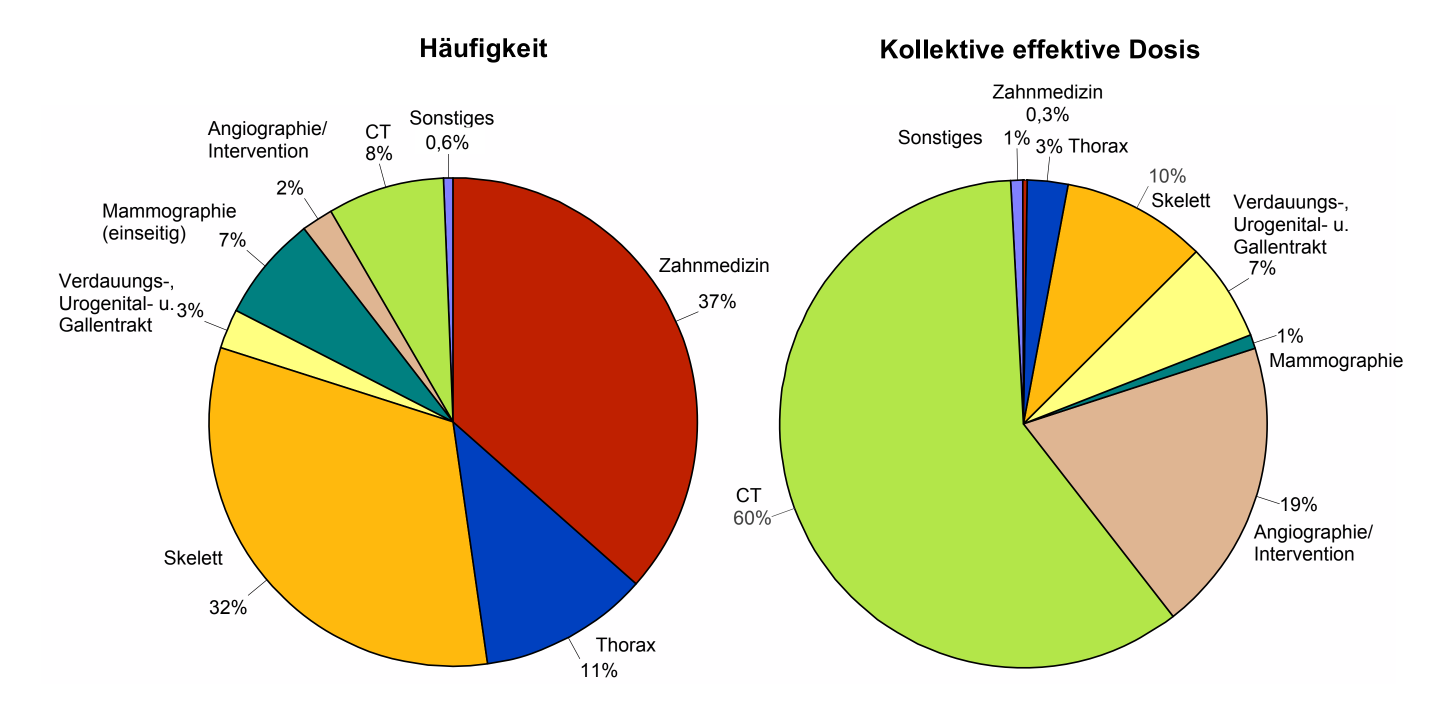


Abbildung 1.1-3 Prozentualer Anteil der verschiedenen Röntgenmaßnahmen an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis 2008
(Contribution of various x-ray diagnostic procedures to total frequency and to collective effective dose in 2008)

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit erkranken jährlich über 57.000 Frauen neu an Brustkrebs, wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 63 Jahren liegt. Im Jahr 2008 verstarben insgesamt etwa 17.000 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Erwartet wird, dass Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen erhöhen können.

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings auf der Grundlage der strengen europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen – in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts – zu schaffen. Zwischen 2004 und Anfang 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening- Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Das Mammographie-Screening-Programm wird nun flächendeckend angeboten.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms sind zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten. Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung stellen nach der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im engeren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Abs. 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Die besondere rechtliche Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall, die voraussetzt, dass der gesundheitliche Nutzen der Untersuchung das damit verbundene Strahlenrisiko überwiegt. Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Ohne diese Zulassung darf mit dem Screening im jeweiligen Bundesland nicht begonnen werden. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der schnelle Fortschritt konnte jedoch digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat die Strahlenschutzkommission (SSK) zusammen mit dem BfS die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Analoge und digitale Röntgenverfahren unterscheiden sich grundsätzlich: Analoge Verfahren sind besonders geeignet für die Darstellung kontrastreicher kleiner Strukturen. Digitale Verfahren verwenden keinen Röntgenfilm, die Daten werden mit einem Detektor aufgenommen, in einem Rechner bearbeitet und auf einem Monitor dargestellt. Durch die Bildbearbeitung können auch sehr kontrastarme größere Strukturen sichtbar und beurteilbar gemacht werden. Die Darstellungen sind aber nur schwer vergleichbar: Digital und analog aufgenommene Bilder führen nicht selbstverständlich zu den gleichen Befunden. Der befundende Arzt muss deshalb intensiv geschult werden, um vergleichbare Ergebnisse in der Befundung zu erhalten.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen. Die für den Vollzug der Röntgenverordnung zuständigen obersten Länderbehörden haben beschlossen, diese Festlegungen dem Vollzug zu Grunde zu legen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen im „Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening“ neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

Das Programm erreichte in der Anlaufphase (Einladungsquote ca. 26%, Stand April 2008) eine Teilnahmequote von etwa der Hälfte der eingeladenen Frauen (Einladungsquote bis 12/2009: 88%). Angestrebt wird eine Beteiligungsrate der anspruchsberechtigten Bevölkerung (insgesamt ca. 10,4 Mio. Frauen) von mindestens 70%. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Nehmen 70% der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich unter der Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Dosis auf 2.600 Personen-Sv. Dies entspricht weniger als 2% der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Wie bereits erwähnt spielen in der Abbildung 1.1-1 Screening-Mammographien zunehmend eine Rolle. Dies schlägt sich jedoch – auf Grund der vergleichsweise niedrigen Dosis pro Untersuchung – in den Abbildungen zur Dosis (1.1-2 oder 1.1-3 rechts) kaum nieder. In den in Abbildung 1.1-3 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden rund zur Hälfte Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien“ über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die auf Grund eines Symptoms in der Brust eine Indikation für die Untersuchung bestand. Man geht jedoch davon aus, dass es sich bei einem größeren Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ um Früherkennungs-Mammographien handelt, die außerhalb des Mammographie-Screening-Programms und damit ohne die hier gültige Qualitätssicherung durchgeführt wurden („graues Screening“). Entgegen der Erwartung hat die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen nach Einführung des Mammographie-Screening-Programms nur wenig abgenommen.

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMU und BfS in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Krankenkassen bzw. dem GKV-Spitzenverband für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik
(Nuclear medicine diagnostics)

In den Jahren 2007 und 2008 wurden in Deutschland im Mittel ca. 3,1 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 37 Untersuchungen pro 1.000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (s. Abbildung 1.2-1).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 8.100 PersonenSv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von ca. 0,1 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Herz-, Skelett- und Schilddrüsenszintigraphie (s. Abbildung 1.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Herzszintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorszintigraphien mit 6,5 mSv am höchsten. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,7 mSv pro Untersuchung auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,5 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

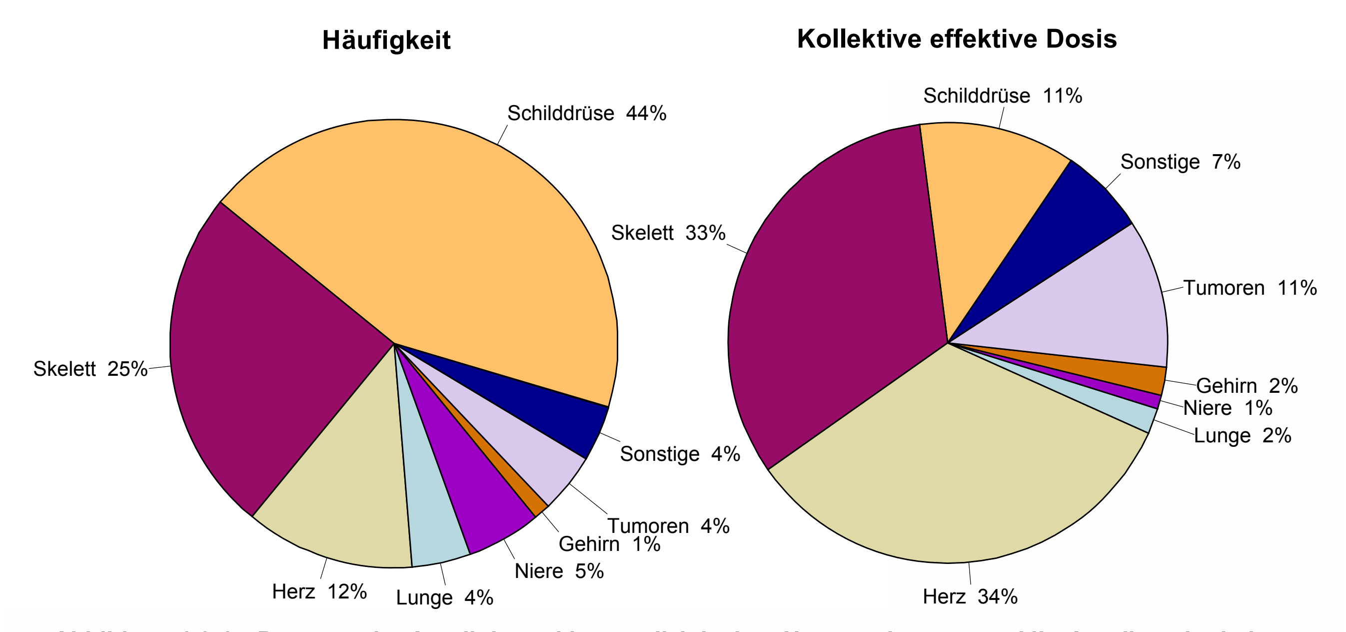


Abbildung 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 2007 - 2008
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 2007 - 2008)

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen *(Evaluation of radiation exposures resulting from diagnostic procedures)*

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahr 2008 etwa 1,8 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen, insbesondere aus röntgendiagnostischen Maßnahmen.

Bei der Abschätzung des Strahlenrisikos wird von einem linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT) ausgegangen. Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar, die impliziert, dass jede strahlenmedizinische Untersuchung ein zusätzliches Risiko für eine strahlenbedingte Krebserkrankung birgt. Eine strahlenhygienische Bewertung muss jedoch berücksichtigen, dass medizinische Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Betroffen sind Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Strahlenexposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Eine eingehende Nutzen-Risiko-Abwägung vor jeder Anwendung einer strahlendiagnostischen Maßnahme ist daher von zentraler Bedeutung (sogenannte „rechtfertigende Indikation“). Die sorgfältige Feststellung der rechtfertigenden Indikation durch den fachkundigen Arzt vorausgesetzt, überwiegt für den Einzelnen der Nutzen der radiologischen Untersuchung gegenüber dem Strahlenrisiko.

Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Eine Machbarkeitsstudie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich wurde vom BfS initiiert: Für die zehn häufigsten Krebserkrankungen wurden für Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, alle relevanten Patienten- und Untersuchungsdaten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen – hochgerechnet auf Deutschland – mindestens 10% der kollektiven effektiven Dosis

aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen in anderen Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20%. Weitere interessante Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80% im Jahre 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z. B. Pankreaskarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z. B. Brustkrebs). Zur Konkretisierung der Fragestellung ist für 2010 ein vom BMU gefördertes Forschungsvorhaben geplant.

Bei Patienten handelt es sich typischerweise um ältere Menschen, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. Von großem Interesse ist daher die Differenzierung der Daten nach Alter. Angaben zur Altersverteilung von Personen, bei denen strahlendiagnostische Untersuchungen durchgeführt werden, sind über die Krankenkassen bislang nicht zu erhalten. Ein vom BMU gefördertes Forschungsvorhaben ermittelte jedoch altersspezifische Daten für den Krankenhausbereich. Abbildung 1.3-1 zeigt, wie sich die Häufigkeit und die kollektive effektive Dosis von Röntgenuntersuchungen auf die einzelnen Alterskategorien von stationären Patienten im Jahre 2002 verteilen. Zum Vergleich ist auch die Altersverteilung der deutschen Bevölkerung dargestellt. Mehr als 60% der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich werden bei Patienten durchgeführt, die 60 Jahre oder älter sind. Lediglich 5% der Röntgenuntersuchungen betreffen Kinder und Jugendliche unter 20 Jahren. Wird die Verteilung der kollektiven effektiven Dosis betrachtet, so wird deutlich, dass dosisintensivere Untersuchungsverfahren, wie die Computertomographie oder Untersuchungen des Herzens oder der Blutgefäße, vor allem im höheren Alter durchgeführt werden. In jungen Jahren überwiegen Röntgenuntersuchungen des Skelettsystems.

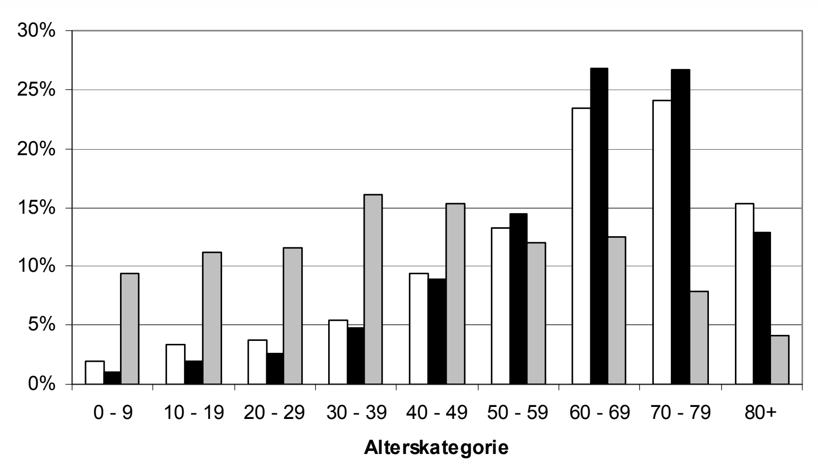


Abbildung 1.3-1 Verteilung von Häufigkeit (weiße Balken) und kollektiver effektiver Dosis (schwarze Balken) von Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit vom Patientenalter im stationären Bereich im Jahre 2002. Zum Vergleich: Altersverteilung der deutschen Bevölkerung 2002 (graue Balken)
(Distribution of frequency [white bars] and collective effective dose [black bars] of x-ray examinations conducted in in-patients of specified age in 2002. For comparison: age distribution of the German population in 2002 [grey bars])

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsmethoden in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind.

Nach aktuellen Daten aus der Literatur lag in den USA und in Japan im Jahre 2000 allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis pro Einwohner für *alle* in Deutschland durchgeführten Röntgenleistungen. Im Jahre 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf aus Röntgen- sowie nuklearmedizinischer Diagnostik in den USA 3 mSv, wobei die CT bzw. nuklearmedizinische Untersuchungen zur kollektiven effektiven Dosis etwa die Hälfte bzw. ein Viertel beitrugen [1]. Der hohe Anteil der CT an der medizinischen Strahlenexposition ist ein weltweit zu beobachtender Trend, der die gestiegene Wertigkeit der bildgebenden Verfahren in Diagnostik, Therapieplanung und Therapieüberwachung widerspiegelt.

Um eine solide Grundlage für einen internationalen Vergleich – zumindest auf EU-Ebene – zu erhalten, wurde Ende des Jahres 2004 die mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe DOSE DATAMED gebildet, in der Deutschland durch das BfS vertreten wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den zehn teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. In allen zehn DOSE DATAMED Ländern tragen Computertomographien, Angiographien und Interventionen den größten Teil zur kollektiven effektiven Dosis bei. Für alle Röntgenuntersuchungen zusammen genommen (oh-

ne Zahnmedizin) unterscheiden sich die Länder bezüglich der Häufigkeit maximal um den Faktor 2,5 und bezüglich der kollektiven effektiven Dosis maximal um den Faktor 4,5 mit den höchsten Schätzwerten für Belgien, Deutschland und Luxemburg und den niedrigsten für Dänemark, die Niederlande und das Vereinigte Königreich. Die zum Teil beträchtlichen Unterschiede bei der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen und der zugehörigen kollektiven effektiven Dosis, die in den zehn Ländern beobachtet wurden, wurden von der DOSE DATAMED Gruppe als real eingeschätzt. Die Unterschiede sind sehr viel größer als die statistischen Unsicherheiten, die unvermeidbar mit jeder Datenerhebung und -analyse einhergehen. Die Unterschiede können zum großen Teil auf die verschiedenartigen Gesundheitssysteme der betrachteten Länder zurückgeführt werden. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur Datenerfassung und -auswertung wurden im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt. Der Bericht und die Empfehlungen wurden auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht [2].

Die hohe Pro-Kopf-Anzahl röntgendiagnostischer Maßnahmen für Deutschland spiegelt den hohen Standard der Gesundheitsversorgung wider. Eine Bewertung der vergleichsweise hohen Häufigkeit bzw. der resultierenden Dosis durch die medizinische Röntgendiagnostik darf den offensichtlichen Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt lassen. Andererseits existiert sicherlich auch ein deutliches Einsparpotenzial ohne Beeinträchtigung der Patientenversorgung. Hierzu können die diagnostischen Referenzwerte zur Optimierung der medizinischen Exposition (bessere Qualität der Untersuchung, niedrigere Dosis) einen wesentlichen Beitrag leisten sowie strengere Kriterien bei der Indikationsstellung zur Durchführung röntgendiagnostischer Maßnahmen, die Vermeidung von Doppeluntersuchungen (höhere Transparenz zwischen Arztpraxen) und die vermehrte Nutzung „alternativer“ diagnostischer Verfahren ohne die Verwendung ionisierender Strahlung (MRT, Sonographie).

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (ca. 1,7 mSv pro Person im Jahr 2008) ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z. B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Herzszintigraphie.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf radiologische Untersuchungen nicht verzichtet werden kann, dass allerdings nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund tritt.

Literatur

[1] NCRP Report No. 160: Ionising Radiation Exposure of the Population of the United States. Bethesda, USA, 2009

[2] European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008 http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren *(Alternative examination procedures)*

Im Berichtszeitraum wurde eine Abschätzung der Häufigkeit der alternativen bildgebenden Diagnoseverfahren Sonographie und MRT in Deutschland für die Jahre 1996 bis 2008 einschließlich einer Trendanalyse durchgeführt. Im betrachteten Zeitraum ist sowohl für Sonographie-Untersuchungen (siehe Abbildung 1.4-1) als auch für MRT-Untersuchungen (siehe Abbildung 1.1-1) eine stetige Zunahme der Häufigkeit zu verzeichnen. Besonders auffallend ist die Vervierfachung der Untersuchungs-Anzahl zwischen 1996 und 2008 bei der MRT (CT: Verdoppelung zwischen 1996 und 2008). Im Jahr 2008 wurden etwa ein Viertel aller MRT-Untersuchungen im Bereich des Schädels und jeweils etwa ein Drittel im Bereich der Wirbelsäule und der Extremitäten durchgeführt.

Die Zunahme von Ultraschall-Untersuchungen ist vergleichsweise moderat (um etwa 30 % über den gesamten betrachteten Zeitraum). Der größte Teil aller Sonographien wird im Bereich des Beckens/Abdomens durchgeführt.

Bemerkenswert ist die parallele Zunahme von MRT-, Ultraschall- und CT-Untersuchungen. Die Zunahme alternativer Untersuchungsverfahren ohne Anwendung von Röntgenstrahlen führt somit entgegen der ursprünglichen Erwartungen nicht zu einer Abnahme der Untersuchungsfrequenz von CT-Anwendungen.

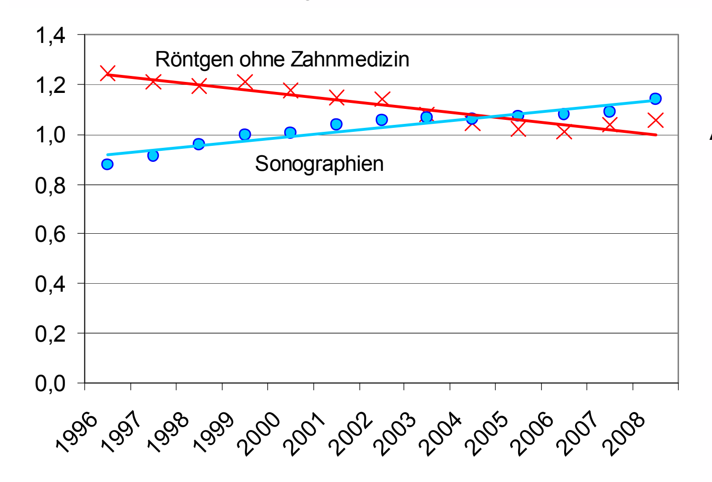


Abbildung 1.4-1 **Häufigkeit von Sonographieuntersuchungen. Zum Vergleich: Häufigkeit aller Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, ohne Zahnmedizin)**
(Frequency of ultrasound examinations. For comparison: Frequency of X-ray examinations including CT, excluding dental examinations)

2. Therapeutische Strahlenanwendungen
(Therapeutic applications of radiation)

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird auf ca. 230.500 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 206.000 bei Frauen geschätzt [1]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer und Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [2] wurden im Jahre 2009 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (17,3 Mio. Einwohner, ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung) etwa 59.300 Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 12% dieser Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung therapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhalten jährlich etwa 282.000 Patienten eine Strahlentherapie. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Strahlentherapien stetig zu, in den zehn Jahren zwischen 2000 und 2009 war ein Anstieg von 37% zu verzeichnen.

Literatur

[1] Krebs in Deutschland 2003 - 2004. Häufigkeiten und Trends. 6. überarbeitete Auflage. Robert Koch-Institut (Hrsg) und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V. (Hrsg). Berlin, 2008)

[2] H.-J. Brodersen: Strahlentherapie in Norddeutschland 09/10 - Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 16. Auflage, 21. März 2010, www.strahlentherapie-nord.de)

3. Medizinische Forschung
(Medical research)

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die vom BfS erteilten Genehmigungen und über die bearbeiteten Voranfragen im Jahre 2008 und 2009.

Tabelle 3-1 **Vom BfS nach § 23 StrlSchV und § 28 a RöV erteilte Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung im Jahr 2008 und 2009**
(Licenses granted by BfS for the use of radioactive substances or ionising radiation - including X-rays - applied on humans in medical research, in the year 2008 and 2009)

Anzahl der erteilten Genehmigungen		Anzahl der bearbeiteten Voranfragen	
2009	**2008**	**2009**	**2008**
270	289	24	35

4. Herzschrittmacher
(Pacemakers)

Im Jahr 2009 wurden - wie bereits seit 1977 praktiziert - keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Auf derartige Batterien kann verzichtet werden, nachdem nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Funktionsdauer bis zu 10 Jahren entwickelt wurden.

Tabelle 4-1 enthält die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Plutonium-238. Alle Herzschrittmacher mit Promethium-147 sind bereits explantiert. Die bisher bekannten übrigen Daten (Altersgruppe, Tragedauer und Explantationsursache) sind im Jahresbericht 1989 aufgeführt.

Tabelle 4-1 Gemeldete Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen (Stand: 31.12.2009)
(Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources at 31 Dec. 2009)

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	9	12[a]
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10
1988	0	4
1989	0	9
1990	0	8

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1991	0	3
1992	0	5
1993	0	1
1994	0	3
1995	0	1
1996	0	3
1997	0	1
1998	0	3
1999	0	0
2000	0	2
2001	0	2
2002	0	0
2003	0	4
2004	0	1
2005	0	0
2006	0	0
2007	0	1
2008	0	0
2009	0	0
Gesamt	284	266

a 1 HSM in Kambodscha verschollen

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

(THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz und vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe *(Border-crossing transport of radioactive material)*

1.1 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe *(Overview of statistics on the import and export of radioactive material)*

Mit dem Begriff „hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)“ werden ab dem Berichtsjahr 2009 Quellen bezeichnet, deren Aktivität den durch Strahlenschutzverordnung gegebenen, nuklidspezifischen Grenzwert überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1-Wertes gemäß Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a, StrLSchV). In dieser Statistik sind umschlossene Strahlenquellen nicht mehr ab dem allgemeinen Limit von 1.850 GBq erfasst, sondern ab den nuklidspezifischen Werten „Aktivität HRQ/1/100 A1“ der Spalte 3a der Anlage III der StrlSchV.

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) hat sich wieder um beinahe das zweieinhalb-fache erhöht (Tabelle 1.1-1), was nahezu ausschließlich von der Wiederzunahme bei den umschlossenen Strahlenquellen herührt . Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (insgesamt 30 GBq).

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2009 mit 8.100 GBq in der Hauptsache aus Russland eingeführt.

Bei der Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist eine Zunahme um gut 20% zu verzeichnen, die aber durchaus noch innerhalb der üblichen Schwankungsbreite liegt. An bestrahltem Material ist vor dem Inkrafttreten der neugefassten Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung (AtAV) am 07. Mai 2009 keine Verbringung erfasst worden.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq ist im Jahr 2009 weiter um etwa ein Viertel angestiegen und liegt mit knapp 5.000 TBq innerhalb der üblichen Schwankungsbreite (Tabelle 1.1-2). Während einer gleichzeitigen Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen rührt der Anstieg der Gesamtsumme von der enormen Zunahme bei den umschlossenen Strahlenquellen her.

Bei einer gleichzeitigen Abnahme bei den Radionukliden ohne umschlossene Strahlenquellen rührt der Anstieg der Gesamtsumme einzig von der deutlichen Zunahme der umschlossenen Strahlenquellen her. Auch hier enthält die Summe die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge mit nur 7 GBq.

Tabelle 1.1-1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle ***(Import of radioactive materials into the Federal Republic of Germany - without radioactive waste)***

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1.850 GBq[1] (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1.850 GBq (GBq)[1]	Gesamteinfuhr (ohne radioakt. Abfälle)[2] (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt)[3] (kg)
1991	3.040.547	72.469	102.929.300	106.042.316	1.461.661
1992	4.470.768	1.470.922	31.326.500	37.268.190	1.742.521
1993	3.227.143	2.546.470	23.330.800	29.104.413	2.306.737
1994	1.911.797	1.072.513	71.315.900	74.300.210	1.999.972
1995	4.686.926	73.629	38.600.400	43.360.955	2.049.273
1996	10.447.635	511.014	59.959.336	70.917.985	2.226.240
1997	1.541.873	51.048	79.215.145	80.808.066	2.490.191
1998	3.254.186	26.300	63.455.965	66.736.451	2.685.212
1999	2.149.973	237	49.894.030	52.044.519	2.540.221
2000	2.070.200	299.203	59.094.344	61.465.318	2.446.259
2001	1.621.780	39.392	25.840.589	27.547.253	3.211.796
2002	2.154.465	34	25.656.390	27.814.225	3.070.944
2003	9.871.929	1	45.034.300	54.906.251	4.565.497
2004	634.604	1.220	25.150.300	25.786.133	2.558.317
2005	488.683	0	27.969.374	28.458.227	4.219.415
2006	336.046	0	80.811.680	81.148.626	3.397.848
2007	2.116.020	1.300	36.896.630	39.013.950	3.830.256
2008	591.121	0	20.038.339	20.629.456	3.760.712
2009	162.310	8.100	50.689.823	50.860.233	4.747.953

1 seit 2009 ab A1/100

2 seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge 3 ab 2009 unbestrahlt

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2009 wie auch im Vorjahr nicht ausgeführt.

Bei den unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist nur ein unbedeutender Rückgang um ca. 1,2% festzustellen; bezüglich bestrahlten Materials ist auch hier vor dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV keine Verbringung registriert worden.

Tabelle 1.1-2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle ***(Export of radioactive materials from the Federal Republic of Germany - without radioactive waste)***

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1.850 GBq [1] (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1.850 GBq [1] (GBq)	Gesamtausfuhr (ohne radioakt. Abfälle) [2] (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) [3] (kg)
1991	651.462	244	12.399.100	13.050.806	8.164.086
1992	2.015.066	27	5.994.200	8.009.293	2.990.557
1993	2.365.740	0	3.063.200	5.428.940	2.983.893
1994	1.447.018	98	2.137.812	3.584.928	2.078.477
1995	1.088.060	22.201	5.702.702	6.812.963	1.657.725
1996	960.351	1.335	3.009.100	3.970.786	2.146.830
1997	392.404	22	2.146.212	2.538.638	3.550.137
1998	550.637	25.044	2.333.673	2.909.354	3.133.196
1999	711.403	81	1.705.422	2.424.966	3.257.216
2000	828.677	94	3.001.795	3.838.040	2.719.502
2001	548.627	23	1.122.457	1.671.185	3.228.135
2002	484.827	0	2.057.005	2.541.842	3.387.520
2003	603.203	14	4.223.996	4.833.831	3.691.535
2004	553.012	7	1.323.180	1.876.208	1.971.109
2005	293.648	0	919.800	1.213.957	1.244.377
2006	238.211	0	5.112.175	5.351.392	3.111.272
2007	197.017	0	2.698.485	2.895.503	3.836.072
2008	2.470.380	0	1.512.330	3.982.713	4.297.148
2009	133.245	0	4.812.237	4.945.482	4.243.784

1 seit 2009 ab A1/100

2 seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge

3 ab 2009 unbestrahlt

1.2 Einfuhrstatistik
(Import statistics)

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100

Tabelle 1.2-1 gibt die Aktivitäten der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab A1/100 und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es zeigt sich in der Gesamtsumme ein erheblicher Rückgang auf nur noch 162.310 GBq. Während dies in 2008 am Wegfall einer enormen Zunahme bei H-3 lag, welches zum größten Teil gespeichert in abgereichertem Uran aus Kanada zur Verwendung in einem deutschen Forschungszentrum geliefert worden war und somit eine Ausnahme darstellte, ist nun die Auswertung der umschlossenen Strahlenquellen nach den A1/100-Werten die Hauptursache: Nach dem bisherigen Limit von 1.850 GBq wären hier nämlich 443.353 GBq und damit die Größenordnung der Jahre 2004-2006 zu verzeichnen gewesen. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass selbst die höchsten Werte für A1/100 deutlich unter 1.850 GBq liegen.

In Form von H-3-Gaslichtquellen sind im Berichtszeitraum 12.291 GBq im Wesentlichen aus der Schweiz eingeführt worden. H-3-Leuchtfarbe wurde nicht bezogen.

Tabelle 1.2-1 **Aktivität der 2009 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1/100)**
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2009 - without sources at levels of above A1/100)

Versender-land	Aktivität in GBq																						
	H-3	C-14	F-18	P-32	S-35	Fe-55	Co-57	Co-60	Ni-63	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99	Cd-109	I-125	I-131	Cs-137	PM-147	Gd-153	Lu-177	W-188	Am-241	Sonst.	Summe
Norwegen	5	0	0	0	0	0	4	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25
Schweiz	17.389	81	444	0	0	19	1	35	14	12	1	0	0	0	3	0	124	11.538	5	22	0	22	38	29.748
USA	391	656	0	0	78	3	189	31	185	2.192	69	0	0	141	1.312	0	38	29	196	0	40	474	177	6.201
Kanada	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	57
Australien	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3.525	0	0	0	0	82	0	0	0	0	54	1	3.663
Japan	4.003	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	4.008
Türkei	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	0	1.215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.230
Russland	2	1.100	0	0	0	0	45	0	5	25.600	6.738	0	0	0	3.650	0	0	0	0	2.518	1.287	0	125	41.070
Belarus	0	0	0	0	0	740	0	0	3.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	0	0	0	46	4.597
Usbekistan	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	21.830	0	0	0	0	0	0	0	43	21.888
Südafrika	0	0	0	2.941	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.911	0	0	0	0	0	0	0	48.889
S-Arabien	0	0	0	0	0	0	0	80	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	83
Israel	466	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	467
Indien	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	127	0	0	0	0	0	0	166
China	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	159
Sonstige	0	0	0	0	0	0	0	5	26	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	59
Summe	22.256	1.837	444	2.941	115	762	254	191	4.136	27.842	6.816	3.525	1.215	141	26.795	45.911	374	11.567	312	2.540	1.327	560	449	162.310

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

Tabelle 1.2-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Kr-85, Sr-90, Cs-137, Ir-192, Am-241 und Cf-252; jeweils ab deren Werten für A1/100 gemäß Anlage III Spalte 3a StrlSchV.

Die Einfuhr ist 2009 auf etwa das zweieinhalb-fache der Vorjahressumme gestiegen weitgehend nur wegen eines Wiederanstieges bei Co-60. Daher ist die Gesamtsumme von 50.689.823 GBq auch nur unbedeutend höher, als sie sich nach der bisherigen Auswertung ergeben hätte (50.408.754 GBq). Es findet sich erwartungsgemäß der größte Posten wieder bei Co-60 mit 9% der Gesamtaktivität.

Co-60-Quellen kamen in der Hauptsache aus Kanada. Ein nicht ganz so umfangreicher Tausch von ausgedienten, in Deutschland genutzten Quellen gegen neue aus Kanada wie in 2006 ist hier zu erkennen, zumal auch bei der Ausfuhr (III.2) Lieferungen entsprechender Aktivitäten respektive Stückzahlen nach Kanada dokumentiert sind.

Tabelle 1.2-2 Aktivität der 2009 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2009 with levels of above A1/100)

Versenderland	Aktivität in GBq								
	Co-60	Se-75	Kr-85	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-241	Cf-252	Summe
Schweiz	0	1.517	0	0	28	666	0	0	2.211
USA	222.095	53.144	917	127	12.957	226.661	1.223	0	517.124
Kanada	43.964.800	0	0	0	0	0	703	0	43.965.503
Japan	131	0	0	0	0	1.975	0	0	2.106
Südkorea	0	0	0	0	0	134	0	0	134
Albanien	0	0	0	0	0	452	0	0	452
Bosnien-Herzegowina	59.800	0	0	0	0	0	0	0	59.800
Russland	0	0	0	0		55.637	0	7	1.205.244
Belarus	4.573.095	0	0	0	0	0	0	0	4.573.095
Ägypten	0	0	0	0	0	839	0	0	839
V. Arab. Emirate	0	0	0	0	0	231	0	0	231
Saudi-Arabien	22	0	0	0	0	0	0	0	22
Kuwait	0	0	0	0	0	10	0	0	10
Brasilien	55.480	0	0	0	0	0	0	0	55.480
Indien	27	0	0	0	0	0	0	0	27
Ghana	83.000	0	0	0	0	0	0	0	83.000
Gambia	0	0	0	0	17.200	0	0	0	17.200
Kamerun	35.000	0	0	0	0	0	0	0	35.000
Nigeria	73.000	0	0	0	0	0	0	0	73.000
Malaysia	7	0	0	0	0	588	0	0	595
Kambodscha	96.900	0	0	0	0	0	0	0	96.900
China	0	0	0	0	1.850	0	0	0	1.850
Summe GBq	49.163.357	54.661	917	127		287.193	1.926	7	50.689.823
Stückzahl	402	16	4	27	205	132	12	7	805

Einfuhr unbestrahlter sowie bestrahlter Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe

Tabelle 1.2-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2009 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder eine Zunahme um gut 26% festzustellen, die sich aber noch in der üblichen Schwankungsbreite bewegt.

Die Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wie auch sonst bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235. Das aufgeführte Plutonium ist wieder in MOX-Brennelementen aus Belgien enthalten.

Das unter „Sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich naturgemäß ebenso bei der Ausfuhr. Bezüglich bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe ist vor dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV am 07. Mai 2009 keine Verbringung registriert worden.

Tabelle 1.2-3 **Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2009**
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2009)

Versenderland	Einfuhr in kg							
	abger. Uran	**Natururan**	**bis 3% U-235**	**>3-10% U-235**	**>85% U-235**	**Pluto-nium**	**Thorium**	**Summe**
Frankreich	35.998	1.648.629	9.113	411.327	33	0	0	2.105.100
Belgien	19.914	0	2.247	5.509	0	1.478	0	29.148
Niederlande	4.507	9.074	0	66.527	0	0	0	80.108
Großbritannien	0	1.430.951	0	12.081	0	0	0	1.443.032
Schweden	0	0	0	5.769	0	0	0	5.769
Spanien	0	1.043	0	26.628	0	0	0	27.671
USA	208	604.632	7.730	27.770	0	0	0	640.340
Kanada	0	134.070	0	0	0	0	0	134.070
Russland	2.193	100.004	0	175.229	0	0	0	277.426
China	157	0	0	0	0	0	49	206
Sonstige	5.083	0	0	0	0	0	0	5.083
Summe	68.060	3.928.403	19.090	730.840	33	1.478	49	4.747.953

1.3 Ausfuhrstatistik
(Export statistics)

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr gemäß Tabelle 1.3-1 nahm von 2.470.380 GBq in 2008 wieder um ein mehrfaches ab auf 133.245 GBq in 2009. Nach der bisherigen Auswertung wären es 275.301 GBq gewesen, so dass das Ergebnis gut mit den Daten der Jahre 2005-2007 korreliert.

Die Abnahme basiert einzig auf dem Wegfall der Lieferung von 2.115 TBq H-3 aus einem deutschen Forschungszentrum 2008 nach Kanada, die mit dem gleichgelagerten Bezug aus 2007 zusammenhing.

Das Nuklidspektrum ist gegenüber dem Vorjahr ansonsten unverändert geblieben mit der Einschränkung, dass Se-75 sich nur noch bei den HRQ findet.

36.366 GBq und damit beinahe die Gesamtmenge des ausgeführten H-3 waren im Berichtszeitraum in Gaslichtquellen enthalten. Letztere wurden im Wesentlichen in die USA und die Schweiz, aber auch nach Norwegen und Kanada geliefert. Ausfuhren von H-3-Leuchtfarbe wurden hingegen auch in 2009 nicht registriert.

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab A 1/100 (Tabelle 1.3-2) hat sich in erster Linie wegen des Anstieges bei Co-60 auf gut das dreifache des Vorjahres erhöht. Weitere Nuklide sind Se-75, Sr-90, Cs-137, Ir-192 und Am-241.

Fast 79% des Co-60 bezog sich auf Rücklieferungen nach Kanada (Quellentausch). Wieder findet sich der größte Posten mit 81,8% der Gesamtausfuhr dieser Rubrik in der Summe für Co-60).

Die im Vergleich zum Vorjahr bezüglich der ausgeführten Co-60-Aktivität sehr viel höhere Stückzahl (383) rührt nicht nur von Rücklieferungen nach Kanada her (110 Stück), sondern bedingt durch den A1/100-Wert von nur 4 GBq auch von der Erfassung „kleinerer“ Quellen (z. B. 204 Stück mit je ca. 540 GBq in die USA).

Tabelle 1.3-1 **Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2009**
(Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2009)

Verbraucher-land	Aktivität in GBq															
	H-3	C-14	F-18	Fe-55	Co-60	Ni-63	Kr-85	Sr-90	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonst.	Summe
Schweiz	7.794	1	20.323	22	0	11	490	16	0	170	247	3	0	0	11	71	29.159
Norwegen	2.738	0	0	0	2	1	15	0	0	4	13	2	37	0	0	64	2.876
USA	21.178	3.678	0	37	77	2.538	2.793	109	214	355	0	21	3.445	0	20	36	34.501
Kanada	3.741	0	0	0	22	35	0	2	0	453	0	9	0	0	0	0	4.262
Australien	0	0	0	6	6	1	0	3	11.772	175	0	96	0	0	0	8	12.067
Neuseeland	109	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0	0	12	0	130
Japan	76	0	0	10	1	712	1.283	6	21	1	0	140	412	0	0	1	2.663
Südkorea	0	0	0	0	17	50	46	4	0	3	28.518	57	154	0	141	0	28.990
Türkei	0	0	0	0	3	13	90	2	0	53	0	1	25	7	131	1	326
Kroatien	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	572	0	0	0	5	2	583
Russland	0	0	0	0	4	18	194	0	0	1.668	0	0	0	0	59	0	1.943
Ukraine	0	0	0	0	0	5	32	0	0	0	0	72	32	0	11	0	152
Turkmenistan	490	0	0	0	29	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	522
Marokko	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	148	0	0	152
Algerien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	448	0	0	9	0	0	457
Tunesien	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	335	0	0	339
Ruanda	533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	533
Saudi-Arabien	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	79	0	0	37	3	123
Oman	0	0	0	0	1	1	7.469	0	0	0	14	2	0	0	0	0	7.487
Libanon	204	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214
Israel	0	0	0	0	0	2	22	0	0	156	0	10	8	0	0	4	202
Indien	0	0	0	4	61	20	184	5	0	1	0	720	99	0	46	66	1.206
Thailand	4	0	0	0	0	0	1.154	1	0	0	0	82	0	0	31	0	1.272
China	0	0	0	11	29	35	319	6	0	0	0	282	225	0	535	0	1.442
Brasilien	0	0	0	11	3	0	47	2	0	0	0	40	44	0	141	2	290
Chile	0	0	0	0	41	0	0	0	29	0	0	142	0	0	0	0	212
Sonstige	8	0	0	4	61	26	151	2	32	5	70	426	120	25	141	71	1.142
Summe	36.875	3.679	20.323	105	358	3.489	14.292	159	12.068	3.044	29.882	2.196	4.601	524	1.321	329	133.245

Tabelle 1.3-2 **Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2009**
(Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2009)

Verbraucherland	Aktivität in GBq						
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-242	Summe
Schweiz	0	1.702	0	56	851	0	2.609
Türkei	233.000	0	0	45.510	0	407	278.917
USA	109.066	0	23	7.333	943	0	117.365
Kanada	3.098.200	0	0	0	0	0	3.098.200
Australien	0	0	0	145	0	0	145
Neukaledonien	0	0	0	444	0	0	444
Japan	476	0	0	0	11.470	0	11.946
Südkorea	0	0	0	199.676	0	0	199.676
Kroatien	0	0	0	0	16.650	0	16.650
Bosnien-Herzegowina	228.000	0	0	0	0	0	228.000
Serbien	0	0	0	0	0	111	111
Russland	1.069	0	0	5.550	0	0	6.619
Ukraine	243	0	0	44	0	0	287
Saudi-Arabien	5	0	0	224	0	0	229
Ägypten	0	0	0	0	21.645	0	21.645
Israel	0	0	0	77.330	0	0	77.330
Kuwait	0	0	0	0	5.930	0	5.930
Iran	0	0	0	81.400	0	0	81.400
China	382	0	4	73.117	0	222	73.725
Taiwan	0	0	0	54.834	0	0	54.834
Pakistan	0	0	0	115	0	222	337
Indien	265.134	0	0	9.458	0	0	274.592
Sri Lanka	154	0	0	0	0	0	154
Mexiko	0	0	0	7.400	0	333	7.733
Chile	0	0	0	254	0	0	254
Tailand	113	0	0	313	0	111	537
Malaysia	7	0	0	93	5.920	0	6.020
Vietnam	79	0	0	239.760	0	0	239.839
Indonesien	0	0	0	5.550	0	222	5.772
Sonstige	703	0	0	234	0	0	937
Summe GBq	3.936.631	1.702	27	808.840	63.409	1.628	4.812.237
Stückzahl	383	1	4	173	57	14	632

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.3-3 zeigt die zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm.

Die Ausfuhrmenge ist in 2009 mit 4.243.784 kg gegenüber 4.296.998 kg (2008) praktisch gleich geblieben.

So liegt auch bei abgereichertem Uran mit 3.319.099 kg der mengenmäßig größte Anteil, es sind 78,2% der Gesamtausfuhr. Immerhin 1.572.323 kg hiervon sind zum Zwecke der Wiederanreicherung auf den U-235-Gehalt von Natururan nach Russland verbracht worden.

Der beinahe gesamte Rest findet sich erwartungsgemäß bei angereichertem Uran mit >3-10%igem Anteil an U-235.

Uran mit höheren Anreicherungsgraden ist im Berichtszeitraum ebenso wenig in relevanten Mengen ausgeführt worden wie auch Plutonium und Thorium.

Das unter „Sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich naturgemäß ebenfalls bei der Einfuhr.

Tabelle 1.3-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2009
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2009)

Verbraucherland	Ausfuhr in kg				
	abger. Uran	Natururan	bis 3% U-235	>3-10%U-235	Summe
Frankreich	1.737.548	2.712	3.287	323.076	2.066.623
Belgien	0	791	1.435	201.049	203.275
Niederlande	3	4	0	10.322	10.329
Großbritannien	0	163	40	47.567	47.770
Schweden	3.213	0	5.650	132.950	141.813
Finnland	0	0	0	1.389	1.389
Spanien	0	0	0	21.571	21.571
Schweiz	0	0	0	38.836	38.836
Südkorea	512	0	0	5.468	5.980
USA	424	38	0	110.005	110.467
Russland	1.572.323	0	0	0	1.572.323
Brasilien	0	0	0	18.319	18.319
Sonstige	5.076	13	0	0	5.089
Summe	3.319.099	3.721	10.412	910.552	4.243.784

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.3-4 waren bis zum Berichtsjahr 2006 die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt und zwar ursprünglich in der Hauptsache für Brennelemente aus der kommerziellen Stromerzeugung, die wegen ihres hohen Wertstoffgehaltes zum Zwecke des Rezyklierens verbracht worden waren.

Durch § 9a Abs. 1 Satz 2 AtG ist dies derzeit jedoch nicht zulässig und es blieben lediglich Kleinmengen, die nicht unter die genannte Regelung fallen wie z. B. bestrahlte Brennstabsegmente zu Forschungszwecken oder MTR („Material-Testing-Reactor")- Brennelemente wie auch jene, die Eigentum der Vereinigten Staaten sind und somit nach deren Nutzungsdauer grundsätzlich zurückzuliefern waren und auch weiterhin zurückzuliefern sein werden.

Ab sofort entfällt dieser Abschnitt nebst der Tabelle 1.3-4 gänzlich, da vor dem Inkrafttreten der Neufassung der AtAV am 07. Mai 2009 keine grenzüberschreitenden Verbringungen derartigen Materials registriert wurden.

1.4 Genehmigungen und Anzeigen
(Licenses and notifications)

Tabelle 1.4-1 zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2009. Neu in dieser Tabelle ist seit dem Berichtsjahr 2006 die Rubrik „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV". Hier sind die Genehmigungen zur Einfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund des HRQ-Gesetzes vom 12. August 2005 i. V. m. § 20 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) nicht im Anzeigeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Die Genehmigungen zur Ausfuhr solcher HRQ sind sinngemäß in der Rubrik „Aufuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV" enthalten, wo sich zuvor lediglich Genehmigungen für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe fanden, deren Aktivität das 10^8-fache der Freigrenzen gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 StrlSchV pro Versandstück überschritt.

Ferner ist in der Tabelle seit dem Berichtsjahr 2002 die rechte Spalte "Genehmigungen nach § 108 StrlSchV" enthalten; sie ersetzt die Auflistung der Anzeigen nach § 12 Abs. 3 der alten Strahlenschutzverordnung von 1989.

Da grenzüberschreitende Verbringungen von Konsumgütern nach § 108 StrlSchV jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, wird in dieser Spalte lediglich die Anzahl der im Berichtszeitraum erteilten Genehmigungen angegeben, welche jeweils eine Gültigkeit von zwei Jahren haben. Im Berichtszeitraum waren dies 5 für die Einfuhr und ebenfalls 5 für die Ausfuhr.

Die einschneidendste Änderung ebenfalls seit 2002 liegt jedoch im Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe. Die vorliegende Statistik enthält daher hierüber keine Daten.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 36 Einfuhr- und 101 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 Abs. 1 AtG sowie 56 Ausfuhr- und 32 Einfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

Die vorliegende Statistik enthält auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle; Informationen hierüber sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Mit der Neufassung der AtAV vom 30. April 2009 gilt diese zusätzlich auch für bestrahlte Kernbrennstoffe. Da vor dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV am 07. Mai 2009 keine grenzüberschreitenden Verbringungen derartigen Materials registriert wurden, sind bereits in der vorliegenden Statistik keine diesbezüglichen Informationen mehr enthalten.

Daten über gemäß der AtAV erfolgte Verbringungen bestrahlter Kernbrennstoffe sind somit ebenfalls den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Im Jahr 2009 gingen 6.984 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 12.200 Ausfuhranzeigen nach § 20 Abs. 2 StrlSchV (bezogen auf die Anzahl der gelieferten Einheiten) ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr um gut 71% angestiegen.

Tabelle 1.4-1 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2009
(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2009)

Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 19 StrlSchV			Anzahl der Anzeigen § 20 StrlSchV		Anzahl der Genehmigungen § 108 StrlSchV	
für	erteilt	genutzt	Abs. 1 u. 3 (Einfuhr)	Abs. 2 (Ausfuhr)	Nr. 1 (Einfuhr)	Nr. 2 (Ausfuhr)
Einfuhr § 3 AtG	36	26	6.984	12.200	5*	5*
Ausfuhr § 3 AtG	101	57				
Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	32	32				
Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	56	53				

* In 2009 erteilte Genehmigungen nach § 108 StrlSchV; die Laufzeiten betragen zwei Jahre

Diese Aufstellung sowie folglich auch die gesamte Jahresstatistik enthält, bedingt durch die Strahlenschutzverordnung von 2001, keine Daten über innergemeinschaftliche grenzüberschreitende Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe.

Bei den Ausfuhrgenehmigungen nach § 19 Abs. 1 StrlSchV sind neben denjenigen für HRQ ab A1 auch zwei Genehmigungen für Kr-85 in offener Form über dem 10^8 -fachen der Freigrenze enthalten. Unter „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ sind ausschließlich Genehmigungen für HRQ ab A1 genannt.

2. Beförderung radioaktiver Stoffe
(Transport of radioactive material)

Das BfS ist die zuständige Behörde zur Erteilung von Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz für Kernbrennstoffe und § 16 Strahlenschutzverordnung für Großquellen.

Außerdem ist das BfS gemäß Gefahrgutbeförderungsgesetz und den darauf beruhenden Verordnungen zuständig für die Erteilung von verkehrsrechtlichen Beförderungsgenehmigungen sowie für die Zulassung und Anerkennung von Transportbehältern.

Als wesentliche Arbeitsschwerpunkte auf dem Gebiet der Zulassungen von Transportbehältern konnten im Jahr 2009 die mehrjährigen, umfassenden sicherheitstechnischen Begutachtungen der Bauarten ’Transport- und Lagerbehälter CASTOR® HAW28M’ sowie ’Transport- und Lagerbehälter CASTOR® KNK’ abgeschlossen und deren verkehrsrechtliche Zulassungen als Versandstückmuster vom Typ B(U)F-96 durch das BfS erteilt werden.

Behälter der Bauart CASTOR® HAW28M sind für die Beförderung von hochradioaktiven Glaskokillen (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich in das Transportbehälterlager Gorleben vorgesehen. Die Bauart CASTOR® HAW28M stellt eine Weiterentwicklung der bisher für solche Beförderungen eingesetzten Behälter der Bauart CASTOR® HAW 20/28 CG dar, um die Entsorgung von HAW-Glaskokillen mit erhöhtem Aktivitätsinventar und größerer Wärmeleistung zu ermöglichen. Der CASTOR® HAW28M gestattet die Beförderung von HAW-Glaskokillen mit einer Wärmeleistung von bis zu 2 kW je HAW-Glaskokille, was einer Erhöhung von 25% gegenüber dem CASTOR® HAW 20/28 CG entspricht. Der Einsatz von Behältern der Bauart CASTOR® HAW28M ist erstmals 2010 für die Rückführung von HAW-Glaskokillen vorgesehen.

Behälter der Bauart CASTOR® KNK werden für die Beförderung und Zwischenlagerung von in Büchsen eingeschweißten Brennstäben und Brennstabstücken der kompakten, natriumgekühlten Kernreaktoranlage KNK II in Karlsruhe, die sich derzeit in Frankreich und in Belgien befinden, sowie Brennstäben aus dem Reaktor des Nuklearschiffs „Otto Hahn“ benötigt. Dieser Behältertyp wurde auf den Grundlagen der bereits zugelassenen Bauart CASTOR® THTR/AVR entwickelt und soll für die Rückführung der KNK-Brennstäbe aus Frankreich nach Deutschland eingesetzt werden.

Auf internationalem Gebiet wurde die Mitarbeit des BfS bei der Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards zum Transport radioaktiver Stoffe bei der Internationalen Atomenergie Organisation (IAEO) und der EU fortgesetzt. Eine neue Ausgabe der „Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe“ der IAEO als TS-R-1 wurde 2009 veröffentlicht. Die

darin enthaltenen Empfehlungen werden ab 1. Januar 2011 in die Gefahrgutbeförderungsvorschriften für alle Verkehrsträger in Deutschland verbindlich umgesetzt. Gleichzeitig wurde ein neuer Überprüfungszyklus der IAEO-Empfehlungen TS-R-1 begonnen, für den durch die Arbeitsgruppe „Klasse 7“ des Gefahrgutverkehrsbeirates des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter Leitung des BfS die erforderliche Stellungnahme Deutschlands erarbeitet wurde. Im internationalen Rahmen erfolgte außerdem die Mitarbeit des BfS in der 2008 gegründeten „Europäischen Vereinigung zuständiger Behörden für den sicheren Transport radioaktiver Stoffe“ mit dem Ziel, die Harmonisierung der anwendbaren Vorschriften und deren praktische Umsetzung auf dem Gebiet der sicheren Beförderung radioaktiver Stoffe in Europa weiter voranzubringen.

Zur Sicherheitsbewertung der künftigen Transporte von radioaktiven Abfällen zum Endlager Konrad wurde die Aktualisierung der Transportstudie Konrad von 1991 durch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit abgeschlossen. Die Transportstudie Konrad 2009 „Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad“ wurde im Februar 2010 veröffentlicht (siehe: www.grs.de).

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe *(Overview of shipment approvals and transport of radioactive material)*

Im Jahr 2009 wurden insgesamt 110 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach-, und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Weitere Informationen über die vom BfS erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 4 AtG für Kernbrennstoffe sowie nach § 16 StlSchV für Großquellen und über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte können der Homepage des BfS (www.bfs.de) entnommen werden.

2009 wurden insgesamt 435 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) und 16 Transporte mit Großquellen durchgeführt.

Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of shipments of nuclear fuels reported – for various modes and types of transport)

Anzahl der Inlandtransporte		
	2009	2008
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	48	67
Straße / bestrahltes Material	2	2
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Insgesamt	50	69
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	1	1
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	106	128
See / bestrahltes Material	0	2
See / Reststoffe und Abfall	2	3
Schiene / unbestrahltes Material	4	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	1
Straße / unbestrahltes Material	269	263
Straße / bestrahltes Material	2	9
Straße / Reststoffe und Abfall	1	0
Insgesamt	385	407

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2009 vom BfS insgesamt 17 Zulassungen für Transportbehälter und 10 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie 3 verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigungen (als Sondervereinbarung) erteilt.

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen

(Transport of radioactive material by the rail- and shipping traffic)

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) fungiert als Aufsichtsbehörde für die Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (§ 24, Abs. 1, AtG) und als Genehmigungsbehörde für die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen (§§ 16 StrlSchV) im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen.

Die gesamte Anzahl der im Jahr 2009 beförderten Wagenladungen im Vergleich zu den Vorjahren ist in Tabelle 2.2-1 aufgeführt.

Tabelle 2.2-1
Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads containing radioactive materials)

Jahr	Anzahl Wagenladungen
1994	745
1995	654
1996	780
1997	678
1998	415
1999	204 [a]
2000	258 [a]
2001	336
2002	433
2003	552
2004	509
2005	610
2006	536
2007	528
2008	481
2009	405

[a] rückläufig, überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle 2.2-2 gibt einen Überblick hinsichtlich der Anzahl der Transporte mit der Eisenbahn in Abhängigkeit der jeweiligen rechtlichen Grundlage der erteilten Beförderungsgenehmigung.

Tabelle 2.2-2 Anzahl der Beförderungen in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(Number of transports in respect of their legal basis)

Rechtliche Grundlage	Genehmigungsbehörde	Anzahl Transporte		Anzahl Wagenladungen	
		2009	2008	2009	2008
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	4	1	16	11
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StrlSchV § 16	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	111	140	381	470
StrlSchV § 17	genehmigungsfrei	2	-	8	-

Tabelle 2.2-3 listet die Anzahl der Wagenladungen des Jahres 2009, spezifiziert nach der Art der beförderten radioaktiven Stoffe, im Vergleich zum Vorjahr auf.

Tabelle 2.2-4 zeigt die Gesamtaktivität für den Wagenladungsverkehr im Jahr 2009. Die Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr wird wesentlich nur durch die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen bestimmt, deshalb erfolgt die Angabe gegenüber dem Jahr 2008 in TBq.

Im Jahr 2009 erfolgte kein Transport mit HAW-Glaskokillen von der französischen Wiederaufbereitungsanlage La Hague ins Transportbehälterlager Gorleben. Im Berichtszeitraum fanden vier Beförderungen von unbestrahlten Uranoxid-Brennelementen von Deutschland nach Frankreich statt. Die Beförderung erfolgte in Behältern mit französischer Zulassung und deutscher Anerkennung. Um das Erfordernis einer Beförderung ohne Fahrtrichtungswechsel einzuhalten, erfolgte sie im Sonderzug.

Tabelle 2.2-3 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)

Art der beförderten Stoffe	Anzahl der Wagen	
	2009	**2008**
Kernbrennstoffe		
Unbestrahlte Brennelemente	-	-
Bestrahlte Brennelemente	16	-
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	-	11
Bestrahlte Brennstoffproben	-	-
angereichertes Uran in Form von - Uranhexafluorid (UF_6) - UF_6-Konversionsprodukten	-	-
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von - Uranhexafluorid (UF_6) - Rückstände aus UF_6-Ausheizungen (Heels) - Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF_6)	205	268
Natururan	61	107
Rückstände/Abfälle in - Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken - leeren Verpackungen - entleerten Transportbehältern für bestrahlte Brennelemente	115	95
Freigestellte Versandstücke	8	-
Summe	**405**	**481**

Tabelle 2.2-4 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)

Art der beförderten Stoffe	Beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2009 (TBq)	**2008 (PBq)**
Kernbrennstoffe		
Unbestrahlte Brennelemente	14,3	-
Bestrahlte Brennelemente	-	-
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	-	4.218,186
Bestrahlte Brennstoffproben	-	-
Angereichertes Uran in Form von - Uranhexafluorid (UF_6) - UF_6-Konversionsprodukten	-	-
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von - Uranhexafluorid (UF_6) - Rückstände aus UF6-Ausheizungen (Heels) - Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF_6)	122,5	0,167
Natururan	52,3	0,086
Rückstände/Abfälle in - Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken - leeren Verpackungen - entleerten Transportbehältern für bestrahlte Brennelemente	2.844	0,187
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z.B. in 200 l-Metallfässern (einschl. Reaktordruckbehälter Rheinsberg)		0,041
Freigestellt Versandstücke	< 1	-

Art der beförderten Stoffe	Beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2009 (TBq)	2008 (PBq)
Summe	**3034,1**	**4218,667**

Tabelle 2.2-5 listet den Anteil der überprüften Wagenladungen sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf. In Tabelle 2.2-6 ist die Anzahl der Mängel, differenziert nach der Gefahrenkategorie, aufgelistet. Mängel mit radiologischer Relevanz traten nicht auf. Es wurden Verstöße gegen Kennzeichnungsvorschriften bzw. Frachtbriefangaben festgestellt.

Tabelle 2.2-5 Anteil der überprüften Wagenladungen bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel im Jahr 2009
(Contingent of reviewed truck-loads based on types of transport as well as detected defects in the year 2009)

Transportart	Wagenladungen		Mängel
	Anzahl	davon überprüft	
Sonstige radioaktive Stoffe	389	57,5%	0,51%
Unbestrahlte Brennelemente	16	100%	-

Tabelle 2.2-6 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften im Jahr 2009
(Detected contempts against dangerous goods regulations in the year 2009)

	Anzahl
Gefahrenkategorie I (schwerwiegender Verstoß)	-
Gefahrenkategorie II (weniger schwerwiegender Verstoß)	-
Gefahrenkategorie III (kein schwerwiegender Verstoß)	2

3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler

(Handling of radioactive materials, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)

Nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 der Strahlenschutzverordnung versteht man unter Umgang mit radioaktiven Stoffen deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung (im Sinne § 2 AtG) soweit es sich nicht um Arbeiten (im Sinne der StrlSchV, § 3 Abs. 1 Nr. 2) handelt.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe

(Users of radioactive sources)

In Tabelle 3.1-1 ist die Zahl der in 2009 gültigen Genehmigungen nach §§ 7, 11, 15, 16, 106 StrlSchV und § 9 AtG in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben.

Die Genehmigungen verteilen sich in 2009 zu 77,3% auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 4,3% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, zu 1,5% auf Beförderung und zu 16,4% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen. Nur ca. 0,3% der Genehmigungen betrafen § 9 AtG und 0,1% den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern.

Gemäß § 7 StrlSchV „Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen" waren im Jahr 2009 13.307 Genehmigungen in Deutschland gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen ist in Tabelle 3.1-2 nach Ländern aufgeschlüsselt. Sie betrug insgesamt 10.319, davon waren

- 25% im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 11% im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 56% im Bereich Industrie, gewerbliche Wirtschaft und
- 8% in sonstigen Bereichen, z. B. Behörden registriert.

In Tabelle 3.1-3 ist die Zahl der Verwender ausschließlich umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2009 dargestellt. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2009 deutlich höher als in den anderen Bereichen.

Eine Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 der StrlSchV im Jahr 2009 gibt Tabelle 3.1-4.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2009 kann Tabelle 3.1-5 entnommen werden. Von den insgesamt 14.938 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 17 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. sechs Cs-137-Quellen, drei Ra-226-Quellen, vier Ni-63-Quellen, zwei Pm-147-Quellen, eine C-14-Quelle und eine Fe-12-Quelle. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-5 zu entnehmen.

Die Daten des Landes Bremen fehlen in der Zusammenstellung.

In den Tabellen 3.1-6 und 3.1-7 ist die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen nach RöV im Jahr 2009 unterteilt in die Bereiche „Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin" sowie „Technik / Nichtmedizin" für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1.453 und ist für die Bundesländer in Tabelle 3.1-7 aufgeführt. 31% der nach § 3 Abs.1 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2009 wurden im technischen Bereich 8.426 Röntgeneinrichtungen gemäß § 4 Abs.1 angezeigt.

Die Daten der Länder Bremen und Hamburg fehlen in der Zusammenstellung.

Tabelle 3.1-1 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)

Land	Am 31.12.2009 gültige Genehmigungen nach: [a]					
	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrlSchV (Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlen) [b]	§ 15 StlrSchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 16 StrlSchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrlSchV (Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)
Baden-Württemberg	2094	Abs. 1: 8, Abs. 2: 94	467	14	5	15
Bayern	1421	80	400	14	7	11
Berlin	813	63	196	42	3	0
Brandenburg	328	10	68	12	0	0
Bremen	keine Angaben					
Hamburg	212	22	84	8	0	0
Hessen	862	Abs. 1: 1, Abs. 2: 49	200	7	0	5
Mecklenburg-Vorpommern	189	8	76	0	0	0
Niedersachsen	1544	71	273	44	1	2
Nordrhein-Westfalen	3369	Abs. 1: 5, Abs. 2: 185	483	48	1	12
Rheinland-Pfalz	482	30	159	27	0	2
Saarland	133	9	20	3	0	0
Sachsen	544	33	194	13	2	3
Sachsen-Anhalt	360	20	60	12	0	0
Schleswig-Holstein	544	Abs. 1: 2, Abs. 2:39	124	7	2	1
Thüringen	412	18	23	2	1	0
Summe:	13307	Abs.1: 16, Abs. 2: 731	2827	253	22	51

a Genehmigung ohne Nachträge, Änderungen und Verlängerungen („Stammgenehmigung“)

b getrennt nach § 11 Abs. 1 und Abs. 2 StrlSchV

Tabelle 3.1-2 Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen [a] nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2009)
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2009)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	440	174	1060	105
Bayern	233	35	664	115
Berlin	342	223	194	12
Brandenburg	31	26	208	47
Bremen	keine Angaben			
Hamburg	51	7	124	15
Hessen	184	88	353	31
Mecklenburg-Vorpommern	42	31	89	20
Niedersachsen	124	69	479	38
Nordrhein-Westfalen	794	245	1658	102
Rheinland-Pfalz	70	36	244	51
Saarland	21	2	57	3
Sachsen	103	103	246	75
Sachsen-Anhalt	39	30	202	37
Schleswig-Holstein	44	13	123	12
Thüringen	34	10	157	154
Summe:	2552	1092	5858	817

a Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle 3.1-3 **Zahl der Inhaber von Genehmigungen [a] nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2009)**
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2009)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV (umschlossene rad. Stoffe)				
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungs-freie, ortsveränderli-che Werkstoffprüfung	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	130	62	666	62	62
Bayern	46	22	620	10	104
Berlin	108	18	116	12	2
Brandenburg	1	4	178	10	42
Bremen	keine Angaben				
Hamburg	3	0	62	4	6
Hessen	27	10	241	2	15
Mecklenburg-Vorp.	16	13	72	0	10
Niedersachsen	14	23	444	27	20
Nordrhein-Westf.	117	120	1401	76	54
Rheinland-Pfalz	43	14	178	11	23
Saarland	3	1	42	1	3
Sachsen	35	44	242	12	55
Sachsen-Anhalt	8	13	199	12	23
Schleswig-Holstein	26	8	72	4	13
Thüringen	9	4	133	11	149
Summe:	586	356	4666	254	581

a Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind hier nicht aufzuführen

Tabelle 3.1-4 **Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen [a] zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2009)**
(Survey of the number of licencees according to § 11 StrlSchV relating to the construction and operation of devices for the production of ionising radiation - as at December 31, 2009)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 11 StrlSchV			
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirt-schaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	15 (§ 11 Abs. 1) 28 (§ 11 Abs. 2)	8 (§ 11 Abs. 1) 3 (§ 11 Abs. 2)	3 (§ 11 Abs. 1) 3 (§ 11 Abs. 2)	0
Bayern	47	8	9	0
Berlin	12	13	1	1
Brandenburg	6	0	0	0
Bremen	keine Angaben			
Hamburg	6	1	1	1
Hessen	23	4	2	0
Mecklenburg-Vorpommern	8	1	0	0
Niedersachsen	30	4	10	0
Nordrhein-Westfalen	117	10	15	0
Rheinland-Pfalz	23	2	1	0
Saarland	8	0	1	0
Sachsen	19	10	3	1
Sachsen-Anhalt	7	0	3	0
Schleswig-Holstein	25	1	0	0
Thüringen	8	1	1	0
Summe:	382	66	53	3

a einschließlich in Verbindung mit nach § 7 StrlSchV erteilten Genehmigungen

Tabelle 3.1-5 **Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahre 2009**
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2009)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dicht-heitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:									Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronen-quellen	Sonstige Nuklide	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Baden-Württem-berg	2.137	84	569	664	23	11	74	178	107	427	5 (2 x Ra-226, 1 x Cs-137, 1 x Ni-63, 1 x C-14)
Bayern	2.257	142	402	555	55	6	53	303	140	601	4 (3 x Ni-63, 1 x Pm-147)
Berlin	290	46	83	67	2	0	3	25	19	45	0
Brandenburg	537	72	25	252	1	0	3	84	5	95	0
Bremen	keine Angaben										
Hamburg	236	27	67	64	0	2	6	27	5	38	0
Hessen	498	130	70	134	7	0	4	52	22	79	0
Mecklenburg-Vorp.	267	44	50	104	1	0	1	39	4	24	0
Niedersachsen	1773	175	245	556	11	0	77	200	143	283	2 x Cs-137
Nordrhein-Westfalen	3561	382	325	741	44	1	100	1561	63	344	4 (1 x Fe-12, 1 x Cs-137, 1 x Ra-226, 1 x Pm-147
Rheinland-Pfalz	493	47	139	97	35	2	7	25	1	140	0
Saarland	98	34	1	34	4	11			2	12	0
Sachsen	2.091	1.166	105	532	6	0	10	91	50	131	2 x Cs-137
Sachsen-Anhalt	266	18	4	127	1	0	0	25	9	82	0
Schleswig-Holstein	252	19	45	102	9	0	4	24	24	25	0
Thüringen	182	4	1	156	2	0	0	14	3	2	0
Summe:	14.938	2.390	2.131	4.185	201	33	342	2.648	597	2.328	17

Tabelle 3.1-6 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin in 2009
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine, dentistry and veterinary medicine in 2009)

Land	Humanmedizin			Zahnmedizin		Tiermedizin	
	Behandlung	Untersuchung					
	Gesamtzahl der genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) (nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 2 RöV)	Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1 RöV) und davon gesondert RöE zur Teleradiologie (nach § 3 Abs 1 und 4 i.V.m. 4 Abs. 4 Nr. 3 RöV)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1)	Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1 Nr. 2)	Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1 RöV)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1 RöV)
Baden-Württemberg	87	1.602/16	6.453	2.552	14.819	458	709
Bayern	38	499 / 73	5.341	457	13.624	357	857
Berlin	14	108 / 5	1.803	56	4011	61	352
Brandenburg	2	50/22	944	10	2.124	70	217
Bremen	keine Angaben						
Hamburg	keine Angaben						
Hessen	22	150/55	2.294	111	6.336	128	469
Mecklenburg-Vorp.	5	11	673	8	1.892	23	120
Niedersachsen	35	274 / 44	4065	180	8396	130	866
Nordrhein-Westfalen	103	1236 / 66	8172	1868	15836	321	1041
Rheinland-Pfalz	17	126	1.831	43	3.705	66	319
Saarland	10	76/14	582	21	898	14	73
Sachsen	11	144/60	1.596	58	4.755	50	259
Sachsen-Anhalt	8	51/13	1.080	9	2.668	23	152
Schleswig-Holstein	9	106/12	1.243	66	3.104	106	243
Thüringen	9	12/9	968	2	2.627	12	137

Tabelle 3.1.7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2009
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological / non-medical areas in 2009)

Land	Gesamtzahl der genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) (nach § 3 Abs. 1 RöV)		Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1)		Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler (nach § 5 Abs. 1 RöV)
	RöE in der technischen Radiographie zur Grobstrukturanalyse (nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 1 RöV)	Sonstige RöE	RöE nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. Anlage 2 Nr. 1 RöV und RöE nach § 4 Abs. 1 Nr. 3 RöV	RöE (Hochschutz- und Vollschutzgeräte sowie Schulröntgeneinrichtungen) (nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. Anlage 2 Nr. 2 bis 4 RöV)	
Baden-Württemberg	78	1.164	1.258	586	482
Bayern	305	629	674	609	286
Berlin	89	268	244	203	96
Brandenburg	69	80	90	80	14
Bremen	keine Angaben				
Hamburg	keine Angaben				
Hessen	135	633	453	291	117
Mecklenburg-Vorp.	35	30	39	26	15
Niedersachsen	241	149	562	411	43
Nordrhein-Westfalen	464	612	864	821	155
Rheinland-Pfalz	86	208	111	177	51
Saarland	23	19	78	27	52
Sachsen	149	196	223	96	76
Sachsen-Anhalt	119	69	60	62	41
Schleswig-Holstein	50	85	105	128	15
Thüringen	54	51	78	70	10

3.2 Bestand radioaktiver Abfälle
(Stock of radioactive waste)

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich in einer Erhebung durch das BfS ermittelt. Tabelle 3.2-1 enthält die zusammengefassten Daten für das Jahr 2008 und 2009 für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle. Nicht enthalten ist in dieser Aufstellung der Bestand abgebrannter Brennelemente.

Tabelle 3.2-1 Übersicht über die Volumina zwischengelagerter radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2009
(Survey on the volume of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2009)

Abfallart	Volumen in m^3			
	vernachlässigbar wärmeentwickelnd		wärmeentwickelnd	
	2009	2008	2009	2008
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) Bestand Jahresende	20.378	20.099	31	64
Zwischenprodukte Bestand Jahresende	8.220	7.319	1.251	1.251

Abfallart	Volumen in m^3			
	vernachlässigbar wärmeentwickelnd		wärmeentwickelnd	
	2009	2008	2009	2008
konditionierte Abfälle Bestand Jahresende	96.410	93.932	605	598
Anfall Jahresende	2.478	2.855	0	0

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern 20.378 m^3 unbehandelte Abfälle (Vorjahr: 20.099 m^3); wobei sich unter diesen auch verwertbare Reststoffe befanden, die weiter- bzw. wiederverwendet oder nach entsprechenden Maßnahmen freigegeben werden können. Der Bestand an Zwischenprodukten mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung belief sich auf 8.220 m^3 (Vorjahr: 7.319 m^3). Diese lagern zum überwiegenden Teil bei den Abfallverursachern, zum Teil aber auch in zentralen Zwischenlagern. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung betrug am 31. Dezember 2009 insgesamt 96.410 m^3 (Vorjahr: 93.932 m^3). Auch dieser Bestand lagert sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern.

Detailliertere Angaben zum Bestand der konditionierten Abfälle am 31. Dezember 2009 sind für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-2 und für wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-3 für die einzelnen Abfallverursachergruppen aufgeführt.

Tabelle 3.2-2 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen, Zwischenprodukten und konditionierten Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2009
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes, intermediate products and conditioned wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2009)

Gruppe	Volumen in m^3					
	unbehandelte Rohabfälle		Zwischenprodukte		konditionierte Abfälle	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008
Forschungseinrichtungen	8.533	8.873	3.120	2.958	41.288	40.439
kerntechnische Industrie	290	431	1.643	2.107	7.562	7.271
Kernkraftwerke	3.942	4.148	1.129	686	17.487	16.665
stillgelegte Kernkraftwerke	5843	5.010	1.830	1.071	12.678	12.265
Landessammelstellen	881	912	202	200	3.382	3.347
Sonstige	335	335	296	296	0	0
Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK)	553	390	0	0	14.013	13.945
Summe	20.378	20.099	8.220	7.319	96.410	93.932

Der Mittelwert des jährlichen Anfalls über alle Verursachergruppen beträgt in den 25 Jahren, in denen eine Abfallerhebung durchgeführt wurde, ca. 4.183 m^3 (Vorjahr: ca. 4.310 m^3).

Neben dem Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen lagerten am 31. Dezember 2009 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 31 m^3 wärmentwickelnde Rohabfälle (Vorjahr: ca. 64 m^3) und ca. 605 m^3 wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle (Vorjahr: ca. 598m^3). Zusätzlich waren 1.251 m^3 wärmeentwickelnde Zwischenprodukte zwischengelagert (Vorjahr: 1.251 m^3). Bei den wärmeentwickelnden Rohabfällen handelt es sich um Spaltproduktkonzentrat aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) sowie um Abfälle des Forschungsreaktors Garching FRM II. Als Zwischenprodukte wurden die aus dem THTR (Hamm-Uentrop) entladenen Kugelbrennelemente gemeldet.

Neben den HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich, die im Zwischenlager in Gorleben gelagert werden, handelt es sich bei den konditionierten wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen u. a. um ca. 200 Fässer mit zementierten Abfällen, größtenteils Feedklärschlämme, Hülsen und BE-Strukturteile aus dem Betrieb und dem Rückbau der WAK, die in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) des FZK lagern. Die Aufteilung des Bestandes an wärmeentwickelnden Abfällen ist in Tabelle 3.2-3 aufgezeigt.

Tabelle 3.2-3 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen und konditionierten wärmeentwickelnden Abfällen nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2009
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes and conditioned heat generating wastes according to groups of waste producers on 31 December 2009)

Verursachergruppe	Volumen in m^3			
	unbehandelte Rohabfälle		konditionierte Abfälle	
	2009	2008	2009	2008
Forschungseinrichtungen	2	8	87	88
kerntechnische Industrie				
Kernkraftwerke			5	1
stillgelegte Kernkraftwerke				
Landessammelstellen			20	20
Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK)	29	56	63	56
Wiederaufarbeitung europäisches Ausland (HAW)			433,4	433
Summe	31	64	605	598

Bis zum 31.12.2009 sind in Deutschland 13.094 Tonnen Schwermetall in Form von bestrahlten Brennelementen angefallen (Vorjahr: 12.790 Tonnen), davon rund 304 Tonnen Schwermetall im Jahr 2009. Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Kernkraftwerken mit Leistungsreaktoren > 50 MW. Von dieser Gesamtmenge wurden 6.662 Tonnen Schwermetall an die Wiederaufarbeitungsanlage AREVA NC (vormals COGEMA) in Frankreich, an die Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield Ltd. (vormals BNFL) in Großbritannien und an die WAK in Karlsruhe abgegeben sowie in sonstigen Anlagen im europäischen Ausland entsorgt.

3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ)
(High-activity sealed sources (HASS))

Bis zum Ende des Jahres 2009 wurden insgesamt 580 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 49 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

Zu 17.300 registrierten Strahlenquellen wurden bis Ende 2009 49.200 Meldungen in der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen gespeichert. Von diesen registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 40% hochradioaktive Strahlenquellen im Sinn der deutschen Strahlenschutzverordnung, da ein Großteil der Quellen bis Ende 2009 ins Ausland verbracht wurde oder auf Grund des radioaktiven Zerfalls (insbesondere Nuklide mit einer geringen Halbwertszeit wie Ir-192 oder Se-75) wieder eine Aktivität unterhalb des HRQ-Grenzwerts aufwies.

Die Entwicklung des Datenbestandes im HRQ-Register seit 2006 zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 3.3-1 Übersicht über die Entwicklung der Daten im HRQ-Register seit dem Jahr 2006
(Survey on the development of data in the HASS-register since the year 2006)

Stand	Genehmigungsinhaber	Behörden	Strahlenquellen	Meldungen
Ende 2006	321	43	1.740	3.139
Ende 2007	453	47	7.626	16.863
Ende 2008	540	47	13.800	32.600
Ende 2009	580	49	17.300	49.200

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse
(Unusual incidents subject to reporting)

Tabelle 4-1 enthält eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2009. Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV bzw. RöV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar. Sie dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum ra-

diologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalles, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffes (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle 4-1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen
(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and X-ray devices and during transport of radioactive material)

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
März 2009	Verlust von zwei Strahlern (Sr-90, 93 kBq, 154 kBq) als geräteinterne Standards in Messgeräten	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Unbekannt
Nov. 2009	Fehlbestrahlung eines Patienten in einer strahlentherapeutischen Einrichtung	Verwechslung von Patienten	Keine	Einführung von organisatorischen Maßnahmen zur Verhinderung von Fehlbestrahlungen
22.07.08 (Nachtrag)	Abgabe eines kontaminierten Metallstabs (Uran-abgereichert, ca. 1,1 MBq) bei einem Abfallbetrieb	Illegaler Besitz radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.08 (Nachtrag)	Fund einer Kathodenstrahlröhre (Ra-226, 50 kBq) in einer Metallschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.10.08 (Nachtrag)	Fund eines Kompasses mit radiumhaltiger Leuchtfarbe (Ra-226, 500 kBq) in einer Metallschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.10.08 (Nachtrag)	Fehlbestrahlung eines Patienten in einer Strahlenklinik	Verwechslung von Patienten	Unterdosierung durch Abbruch (statt 3 Gy nur 2 Gy)	Abbruch der Behandlung, Berücksichtigung der Unterdosierung bei Folgebehandlung, Belehrung
16.10.08 (Nachtrag)	Fehlbestrahlung eines Patienten in einer Strahlenklinik	Verwechslung von Patienten	Überdosis des ersten Patienten (0,3 Gy)	Auswertung der Vorkommnisse mit der MTA, Prüfung der Einführung einer Patientenerkennungskarte
22.12.08 (Nachtrag)	Fehlbestrahlung eines Patienten in einer Strahlenklinik	Nicht durchgeführte Aktualisierung von Bestrahlungsfeldern	Keine	Berücksichtigung der Dosis bei Folgebestrahlung, nochmalige Unterweisung der MTRA
23.12.08 (Nachtrag)	Verlust von 6 Neutronen-Generatoren (H-3, je 70 GBq) während des Transports	Diebstahl radioaktiver Stoffe	Keine, im geschlossenen Zustand	Polizeiliche Ermittlungen
05.01.09	Verlust von zwei Röntgenfluoreszenzanalysatoren mit je zwei Strahlern (Am-241, 1110 MBq; Fe-55, 740 MBq)	Diebstahl	Unbekannt	Polizeiliche Ermittlungen, Information der Aufsichtsbehörde
06.01.09	Fund eines radioaktiv kontaminierten Ventilgehäuses (Co-60, 8 Bq/g) in einem Container	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
07.01.09	Fund eines radioaktiven Stoffes (I-131, 7,4 µSv/h am Drehcontainer) im Hausmüll	Unzulässige Entsorgung	Gering	Abklingen lassen bis zur Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
07.01.09	Fund von Metallschrott mit radioaktiv markierter Leuchtfarbe (Ra-226, 1,2 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, bis dahin sichere Lagerung
12.01.09	Fund von radioaktiven Stoffen (I-131, 1,5 µSv/h am Container) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
13.01.09	Fund von radioaktiv kontaminierten Gussteilen (Co-60) in einer Lieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
13.01.09	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Co-60) in einer Lieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
23.01.09	Fund von kontaminierten Edelstahlspänen (Co-60, 1 µSv/h an den Spänen) im Metallschrott	Unbekannt	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, bis dahin sichere Lagerung und Information an die Aufsichtsbehörde
23.01.09	Fund von zwei Metallrohrstücken (Ra-226, ca. 200 kBq und ca. 2 MBq) mit Inkrustrationen in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.01.09	Fund eines Strahlers (Kr-85, 220 MBq) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen
28.01.09	Fund eines Metallrohrstückes (Ra-226, ca. 2 MBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.01.09	Fund radioaktiver Stoffe im Hausmüll (I-131, 5 µSv/h an Außenwand des Containers, 9 µSv/h an textilem Gegenstand) in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Gering	Freimessung nach Abklingen, Freigabe
02.02.09	Fund eines kontaminierten Edelstahlrohrs, (Cs-137, 1 µSv/h am Rohr) im Metallschrott	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.02.09	Fund radioaktiver Stoffe (Co-58, 0,2 µSv/h an rechter Seite des Schüttgutsattelaufliegers) im Gewerbeabfall in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Gering	Übergabe an zuständige Behörde
04.02.09	Fund von Ionisationsrauchmeldern bei der Stadtreinigung (Am-241, max. 0,2 µSv/h an Stahlblechfässern)	Unzulässige Entsorgung	Gering	Entsorgung durch Fachfirma
06.02.09	Fund von radioaktiv kontaminiertem Edelstahl (Co-60, bis 33 Bq/g) in einer Lieferung aus Indien bei einem Stahlhandel	Import von im Ausland unzulässig verunreinigtem Rohmaterial	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
09.02.09	Fund von radioaktiven Stoffen, (I-131, 2,5 µSv/h an der Behälteroberfläche) im Hausmüll	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
13.02.09	Fund eines radioaktiven Stoffes (I-131, 2,3 µSv/h am Container) im Hausmüll	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
17.02.09	Fund eines radioaktiven Stoffes (Ra-226, 0,6 µSv/h am Container) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gering	Entsorgung durch Fachfirma
19.02.09	Vorübergehender Verlust eines Strahlers (Am-241, 1,11 GBq) während des Transports	Falsche Adressierung des Versandstücks	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, Auslieferung an den ursprünglichen Adressaten
02.03.09	Austritt von radioaktivem Gas (Tc-99m) an einem Lungenventilationsmessplatz	Undichtes Ventil an einem Mo-99/Tc-99m - Generator	Keine radiologischen Folgen, insbesondere keine Inkorporationen nachweisbar	Sperrung des Raumes, Freimessung, Überprüfung des Generators und des Ventils
10.03.09	Fund eines radioaktiven Stoffes (I-131, 0,5 µSv/h an der Containeroberfläche) im Hausmüll	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
10.03.09	Erwerb eines Ionisationsrauchmelders (Kr-85, ca. 30 MBq) über elektronische Auktionsbörse	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Gering	Beschlagnahmung, Entsorgung durch Fachfirma
13.03.09	Fund radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 10 MBq) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.03.09	Verlust eines radioaktiven Strahlers (Am-241, 1,6 GBq) in einer Firma	Diebstahl	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
18.03.09	Verlust von zwei Strahlern (Co-60, 370 kBq; Na-22, 37 kBq) eines Schulquellensatzes aus einer Schule	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Unbekannt
19.03.09	Fund eines radioaktiven Stoffes (Ra-226, 0,2 µSv/h an der Containeroberfläche) als Holzabfall im Sperrmüll	Unzulässige Entsorgung	Gering	Entsorgung über Fachfirma
26.03.09	Fund von 10 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, 1,6 MBq), bei einer Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
31.03.09	Fund von 7 Transportbehältern (Uran, abgereichert 12 GBq) bei einem internationalen Transport	Verstoß gegen Transportvorschriften	Gering	Sichere Lagerung bis zum Weitertransport
04.04.09	Fund radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 200 kBq) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung (Landessammelstelle)
06.04.09	Fund eines Kompasses mit radiumhaltiger Leuchtfarbe (Ra-226, 2,2 µSv/h in 40 cm Abstand) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.04.09	Messung erhöhter Kontamination im Deckelbereich eines Containers (153 Bq/cm^2, Alpha-Strahler)	Defektes Abfallfass innerhalb eines anderen Containers	Unbekannt	Sicherstellung des Containers, umgehende Ursachenermittlung, Ordnungsgemäße Entsorgung
17.04.09	Fund eines kontaminierten Stahlrohrs, (Ra-226, 1,8 µSv/h am Rohr) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
20.04.09	Fund von 20 kontaminierten Edelstahlbolzen (Co-60, ca. 20 Bq/g) bei einer Firma		Unbekannt	Sicherstellung
21.04.09	Herausfallen einer Strahlenquelle aus einer Füllstandsmessanlage (Cs-137, 225 MBq) bei einer Firma	Vermutlich Lösen der Verschraubung durch Vibration	Keine	Ersetzen der Abschirmung, Dichtheitsnachweis
12.05.09	Abbruch einer Biopsie-Untersuchung nach Fehlermeldung	Fehlfunktion am Gerät	Person unnötig strahlenexponiert	Abbruch der Behandlung, Stilllegung der Anlage, Fehleranalyse erfolgt durch Hersteller
14.05.09	Fund von 3 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 29,6 kBq) in einer Ladung Elektroschrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Prüfung auf Wiederverwendung, ansonsten ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma
19.05.09	Fund eines Radium-Emanators in einer Garage (Ra-226, 80 µSv/h an der Oberfläche)	Unkenntnis	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
29.05.09	Fund von mit Uran kontaminiertem Molybdänschrott (verschiedene Uranisotope, ca. 600 kBq/g U-235) in einer Recyclingfirma	Unbekannt	Keine	Sicherstellung
29.05.09	Fund mehrerer radioaktiver Kunststoffteile (I-131) in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine bis geringe	Separierung, Freigabe nach Abklingen
29.05.09	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten erdähnlichem Material (Th-232, ca. 2 Bq/g) in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine bis geringe	Rückführung zum Entsorger, Suche nach dem strahlenden Material
02.06.09	Fund eines kontaminierten Metallsplitters (8 µSv/h) in einer Abfallsortieranlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Einrichtung einer messtechnischen Eingangkontrolle in der Sortieranlage. Polizeiliche Ermittlungen
02.06.09	Fund radioaktiver Stoffe (1,6 µSv/h an Oberfläche des Containers) in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine bis geringe	Rückführung zum Entsorger, Information der zuständigen Behörde
02.06.09	Fund eines Instruments mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 120 kBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Separierung, Kontaminationsprüfung, sichere Verwahrung bis zur ordnungsgemäßen Entsorgung
04.06.09	Fund eines radioaktiven Instrumententeils (Ra-226, 60 kBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine bis geringe	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.06.09	Fund von radioaktiven Stoffen (I-131, 0,9 µSv/h an der Containeroberfläche) im Hausmüll	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
12.06.09	Fund von 3 Uranerzbrocken (Uran, natürlich, 2,7 kBq/g) in einem Betrieb	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.06.09	Fund von zwei radioaktiven mineralartigen Bruchstücken (Ra-226, 0,2 MBq; Ra-226, 0,3 MBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Rückweisung des LKW, Messung durch Sachverständigen
25.06.09	Angebot eines Radium-Emanators bei einer elektronischen Auktionsbörse (Ra-226)	Unbekannt	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
29.06.09	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 0,8 µSv/h an der Containeroberfläche) im Muschelbesatz eines Schiffes	Unzulässige Entsorgung	Gering	Erstellung eines Gutachtens, Entlassung nach § 98 StrlSchV
06.07.09	Fund von mit Natururan kontaminierten Anlagenteilen (Uran, natürlich, 23 Bq/g) aus Industrieabriss	Unbekannt	Dekontamination der betroffenen Anlagenteile	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.07.09	Fund einer Drahtquelle (Co-60, 13 MBq) in einem Baucontainer	Unterlassene Entsorgung	Gering	Sachgerechte Lagerung, Entsorgung und Ordnungswidrigkeitsverfahren gegen Genehmigungsinhaber
13.07.09	Verlust von 96 Ionisationsrauchmeldern (Gesamtaktivität 4 MBq; Einzelaktivität 4 x 555 kBq, 92 x 29,6 kBq)	Unbekannt	Unbekannt	Strafanzeige
16.07.09	Fund einer radioaktiven Quelle (Cs-137, ca. 1 500 MBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Ganzkörperexposition bei zwei Personen von 2 mSv bzw. 0,6 mSv	Sicherstellung
20.07.09	Fund eines kontaminierten Sofaüberbezugs (Th-232, 16 µSv/h)	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.09	Fund von kontaminiertem Edelstahl (Co-60, < 10 Bq/g)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.07.09	Abbruch einer Biopsie-Untersuchung nach Fehlermeldung	Verstoß gegen Bedienvorschriften	Person unnötig strahlenexponiert	Stilllegung der Anlage, Fehleranalyse durch Hersteller
29.07.09	Verlust eines Elektroneneinfangdetektors mit einem Strahler (Ni-63, 370 MBq) in einer Lackfabrik	Großbrand	Keine	Feuerwehr und die zuständige Behörde wurden informiert
04.08.09	Fund einer Quelle (Co-60, 3,7 MBq) in einer Schrottanlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.08.09	Verlust von zwei Niton-Analysatoren (Am-241, 1110 MBq) bei einer Rohstoffhandelsgesellschaft	Diebstahl	Keine, im geschlossenen Zustand	Polizeiliche Ermittlungen laufen
11.08.09	Fund eines Strahlers (Ra-226, 500 µSv/h in 10 cm Abstand) bei einer Schrottanlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.08.09	Fund eines radioaktiven Metallstücks (Co-60, 2,2 MBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine bis gering	Kontaminationsprüfung, Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.08.09	Exposition eines Fahrers im LKW beim Durchfahren einer Untersuchungsanlage	Verstoß gegen Arbeitsschutzvorschriften	Maximale Exposition des Fahrers: 0,3 µSv	
26.08.09	Fund eines Strahlers (Ra-226, 20 µSv/h in 10 cm Abstand) in den Betriebsräumen einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.08.09	Zerbrechen einer Nuklidflasche (F-18, 3 GBq) in einer klinischen Einrichtung	Allgemeines menschliches Versagen	Kontaminationen	Sofortige Dekontamination und Schutzmaßnahmen

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
27.08.09	Fund eines Kompasses mit Leuchtfarbe (Ra-226, 25 µSv/h an der Deckeloberfläche) bei einer Schrottanlieferung	Unzulässige Entsorgung	Gering	Abgabe an die Landessammelstelle
04.09.09	Fund von 5 radioaktiven Präparaten (Ra-226, Gesamtaktivität 13,5 MBq; Einzelaktivität 2,7 MBq) im Metallschrott in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.09.09	Fund radioaktiver Stoffe in einem Bildverstärker (Th-232, 70 kBq) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
10.09.09	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 300 kBq) in einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.09.09	Verlust eines Prüfstrahlers (Cs-137, 2,9 MBq) in einer medizinischen Einrichtung	Unbekannt	Keine	Aufsichtliche Kontrolle der Klinik, zusätzliche Kontrollen bei Entsorgung
17.09.09	Verlust eines Sondenkopfes mit 2 Strahlern (Cf-252, 136 MBq; Cf-252, 104 MBq) bei Sondierung in 20 m Tiefe	Allgemeines technisches Versagen	Keine	Bergung der Quellen nicht möglich, Betonierung
17.09.09	Kontamination mit vermuteter Inhalation bei Entfernung von Leuchtfarbe (Ra-226, 0,1 Bq/g) an einer Bunkerwand	Verstoß gegen Arbeitsschutzvorschriften	Keine	Arbeiten mit Vollmaske und Staubfilter, Inkorporationsmessung
22.09.09	Fund einer Linse mit Prisma (Th-232, 1,7 kBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
27.09.09	Fund eines medizinischen Präparats (I-131, 30 kBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Kontaminationskontrolle, Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.10.09	Fund von radioaktiv kontaminiertem Schrott (Ra-226, 1,6 mSv/h) bei der Anlieferung in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und Rücklieferung an den Lieferanten, dort Dekontamination oder ordnungsgemäße Entsorgung
19.10.09	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Rohren (Ra-226, 36 Bq/g und 34 Bq/g) in einem Schrotthandel	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.10.09	Fehlbestrahlung von zwei Patienten (Mehrbelastung von 0,5 Gy) in einem Klinikum	Allgemeines menschliches Versagen	Keine	Aktualisierung der Arbeitsanweisungen, zukünftig Zuordnung der Patienten anhand von Fotos
02.11.09	Fund von 422 Ionisationsrauchmeldern in einer Elektro-Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.11.09	Fund kontaminierter Holzabfälle (Ra-226, 8,1 µSv/h an Containeroberfläche)	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sortierung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.11.09	Fund radioaktiver Stoffe (I-131, 0,5 µSv/h an der Containeroberfläche) in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Lagerung bis zum Abklingen

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
01.12.09	Fund von 22 Ionisationsrauchmeldern in einer Elektro-Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.12.09	Fund eines kontaminierten Metallspans (Mn-54, 44 kBq; Co-56, 490 kBq; Co-57, 270 kBq; Co-58, 840 kBq; Re-183, 21 kBq; Gesamtaktivität 1,64 MBq) in einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
17.12.09	Fund eines Höhenmessers mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 6 µSv/h an Containeroberfläche) im Elektroschrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, Erstellung einer Arbeitsanweisung

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen
(Electromagnetic fields - research activities and current topics)

1.1 Elektromagnetische Felder allgemein
(Electromagnetic fields in general)

Mit dem zunehmenden Technisierungsgrad der Umwelt steigt auch die Zahl der künstlichen Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch nicht-ionisierende Strahlung beitragen können. Nicht-ionisierende Strahlung umfasst elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in einem Frequenzbereich von 0 Hertz (Hz) bis 300 Gigahertz (GHz) sowie optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 Nanometer bis 1 Millimeter. Die gleichzeitige Einwirkung der Aussendungen mehrerer Emittenten sowie neue Technikentwicklungen stellen in diesem Zusammenhang aktuelle Herausforderungen für den Strahlenschutz und die damit befassten Stellen dar.

Das Jahr 2009 vom BfS initiierte und koordinierte Forschungsvorhaben „Systematische Erfassung aller Quellen nicht-ionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können“ hat das Ziel, künstliche Quellen nichtionisierender Strahlung gemäß oben stehender Definition systematisch zu identifizieren, die einen in Bezug auf die einschlägigen, wissenschaftlich anerkannten, internationalen Grenzwertempfehlungen relevanten Beitrag zur Exposition von Personen der allgemeinen Bevölkerung liefern können. Auch neue und absehbare Technikentwicklungen sollen dabei berücksichtigt werden. Abschließende Ergebnisse werden für 2010 erwartet.

1.2 Statische Magnetfelder
(Static magnetic fields)

Sowohl Personen, die als medizinisches Personal direkt in der Nähe von Magnetresonanztomographen (MRT) arbeiten, als auch Patienten, die sich einer Diagnostik im MRT unterziehen, sind starken statischen Magnetfeldern mit magnetischen Flussdichten von bis zu 3 Tesla und mehr ausgesetzt. Ab einer Schwelle von etwa 2-4 Tesla wird vorübergehende (transiente) Effekte berichtet, die zu einer Gefährdung an bestimmten Arbeitsplätzen oder bei bestimmten Tätigkeiten führen können. Betroffen sind im Wesentlichen kognitive Fähigkeiten. Dieses Thema ist von hoher Priorität, da zunehmend z. B. Arbeitnehmer solchen und weitaus höheren Feldern ausgesetzt werden. Die Feldstärkewerte neuer Technologien (vor allem im medizinischen Bereich) erreichen bereits jetzt Werte im Bereich von 10 Tesla. In naher Zukunft ist mit der Einführung von so genannten 7-Tesla-Geräten in die klinische Praxis zu rechnen. Verlässliche Daten über das Ausmaß der gesundheitlichen Risiken bei diesen Werten magnetischer Flussdichten liegen nicht vor. Eine weitere Aufklärung gesundheitlicher Risiken starker statischer Magnetfelder ist darum notwendig. Die Ergebnisse sind für die Anwendung statischer Magnetfelder am Menschen von hoher Bedeutung.

Die im Jahr 2009 bearbeiteten Forschungsvorhaben hierzu sind:

3608S04557	Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell
3609S30014	Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen
3608S03009	Auswirkungen der Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden

Siehe Programmreport 2009, www.bfs.de/de/bfs/druck/netzpublikationen

1.3 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder
(Low-frequency electric and magnetic fields)

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien wird eine Krebs begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder im Fall der im frühen Kindesalter auftretenden Leukämie diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang bei erhöhten häuslichen Magnetfeldexposition von > 0,4 Mikrotesla (µT). Deshalb haben die WHO und die IARC bereits 2002 niederfrequente Magnetfelder, ebenso wie Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase, als "möglicherweise krebserregend" (Klasse 2B) eingestuft. Die Assoziationen zeigen sich auch in neueren epidemiologischen Studien, konnten jedoch durch tierexperimentelle Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien bisher nicht bestätigt werden.

Da man bei der Entstehung kindlicher Leukämien von einem multifaktoriellen Geschehen ausgeht, bemüht sich das BfS durch Forschungsprojekte und Expertendiskurs den Beitrag von ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung an der steigenden Anzahl an Erkrankungen (Inzidenzraten) zu klären. Nach einem internationalen Workshop zu allen bekannten genetischen und umweltbedingten Risikofaktoren im Mai 2008 folgte im Juli 2009 ein weiteres Expertengespräch. Es zeigte sich, dass die Komplexität dieser Fragestellung eine mittel- bis langfristig angelegte, interdisziplinäre Forschungsplanung erfordert, die die wissenschaftliche Basis für Präventionsmaßnahmen liefern soll.

Im Bereich „Niederfrequente elektromagnetische Felder“ initiierte und koordinierte das BfS im Jahr 2009 folgende Studien:

3608S30006	Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo
3608S03008	Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell
3607S04556	Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologische Wirkung niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion

Siehe Programmreport 2009, www.bfs.de/de/bfs/druck/netzpublikationen

1.4 Hochfrequente elektromagnetische Felder *(High-frequency electromagnetic fields)*

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2009 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Dabei geht es um mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge so genannter nicht-thermischer Wirkungen. Nicht-thermische Wirkungen sind biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Nicht-thermische Wirkungen wie zum Beispiel Kraftwirkungen auf einzelne Zellen sind zum Teil gut untersucht. Sie treten im Mobilfunkfrequenzbereich aber erst bei wesentlich höheren Intensitäten auf als die thermischen Wirkungen. Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nicht-thermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder wurden in jahrzehntelanger Forschung wissenschaftlich nicht nachgewiesen.

Auch das in den Jahren 2002 bis 2008 durchgeführte Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (www.emf-forschungsprogramm.de/) ergab in Übereinstimmung mit weiteren nationalen und internationalen Forschungsergebnissen, dass sich die früheren Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/de/elektro/hff/wirkungen) in unabhängigen Wiederholungsstudien nicht bestätigen lassen.

Trotz dieser wissenschaftlich fundierten Erkenntnis bezeichnen sich etwa 1,5 % der Bevölkerung (Ergebnis von jährlichen repräsentativen Umfragen des BfS; (www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_021.html) als elektrosensibel und damit als besonders empfindlich gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, und führen eine Vielzahl gesundheitlicher Beschwerden darauf zurück. Bei Betrachtung aller nationalen und internationalen Studien zum Thema „Elektrosensibilität“ ergibt sich, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen den Beschwerden der elektrosensiblen Personen und niederfrequenten wie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern nachgewiesen werden kann. Diese Einschätzung wird auch von der WHO geteilt[1]. Die den gesundheitlichen Leiden der Betroffenen zu Grunde liegenden Ursachen liegen demnach nicht in der Exposition durch nicht-ionisierende Strahlung.

Wissenschaftliche Unsicherheiten bestehen dagegen bezüglich der Frage zu möglichen Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten von mehr als 10 Jahren und ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene. Dies und die Nutzung neuer technologischer Anwendungen verschiedener Frequenzbereiche hochfrequenter elektromagnetischer Felder erfordern weitere Forschung zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage. Die hierfür vom BfS initiierten und koordinierten Forschungsvorhaben sind:

3609S80002	Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Technologien entstehen
3606S04517	Numerische Bestimmung der Spezifischen Absorptionsrate bei Ganzkörper-Exposition von Kindern
360704504	Einfluss hochfrequenter Felder auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität)
3607S04533	Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro
8848	Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern

[1] Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensibilität (Elektrosensibilität). Fact sheet N° 296 vom Dezember 2005, www.who.int/entity/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_german.pdf

FM 8846	Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen (www.bfs.de/de/elektro/hff/papiere.html/tetra.html)

Siehe Programmreport 2009 bzw. 2008, www.bfs.de/de/bfs/druck/netzpublikationen

Risikokommunikation

Speziell für den Bereich „Mobilfunk" wurden bereits im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms Forschungsvorhaben durchgeführt, mit dem Ziel, die Wahrnehmung des Mobilfunks in der Gesellschaft und die Risikowahrnehmung an sich zu erfassen sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der Risikokommunikation zu diesem Thema aufzuzeigen. Weitere Forschungsvorhaben in dieser Richtung aber auch bezüglich Risikokommunikation zum Thema „Elektromagnetischer Felder" generell wurden vom BfS initiiert und koordiniert:

3609S80001	Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks 2009
3608S03016	Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF
3607S04527	Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank
3608S03015	Risikowahrnehmung und Risikokommunikation im Bereich der Niederfrequenten Felder
3607S04545	Risiken elektromagnetischer Felder aus Sicht deutscher Allgemeinmediziner

Siehe Programmreport 2009 bzw. 2008, www.bfs.de/de/bfs/druck/netzpublikationen

Umweltzeichen „Blauer Engel"

Die Strahlenschutzkommission hat bereits im Jahr 2001 in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern" (173. Sitzung, www.ssk.de/werke/vollext/2001/ssk0103.pdf) empfohlen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen." Sie weist darauf hin, dass „– entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft – die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder von Geräten, z.B. von Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne." Um dementsprechend besonders strahlungsarme Handys für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel" durch die Jury „Umweltzeichen" in Zusammenarbeit mit dem BMU und BfS im Juni 2002 festgelegt. Demnach kann der „Blaue Engel" an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurden.

Das BfS stellt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen ermittelten SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys zusammen und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/de/elektro/oekolabel.html.

Mitte 2009 umfasste diese Erhebung insgesamt 1310 Geräte von 42 Herstellern sowie vier Netzbetreibern, wovon 131 Handys UMTS-Geräte waren. Ein standardisiert ermittelter SAR-Wert (Anwendungsfall „Handy am Kopf") konnte für 1121 Handys gefunden werden. Für 27 Geräte liegen SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy am Körper getragen" vor. Nach dieser Erhebung bewegen sich die SAR-Werte der auf dem Markt befindlichen Handys beim Betrieb am Kopf zwischen 0,10 W/kg und 1,94 W/kg sowie zwischen 0,003 W/kg und 1,87 W/kg beim Betrieb am Körper. Es lässt sich erkennen, dass aus Sicht des Strahlenschutzes mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca. 30% der Mitte 2009 auf dem deutschen Markt befindlichen Handymodelle mit dem Umweltzeichen ,,Blauer Engel" hätten ausgezeichnet werden können. Lässt man die nicht mehr in Produktion befindlichen Geräte („Auslaufmodelle") bei der Betrachtung außer Acht, so liegen bei den dann 243 aktuell produzierten Handys die SAR-Werte zwischen 0,1 W/kg und 1,57 W/kg (Kopf) bzw. 0,003 W/kg und 1,87 W/kg (Körper), und es erfüllen ca. 36% das angeführte Kriterium für die Vergabe des „Blauen Engel". Informationen zu den Vergabegrundlagen für den ,,Blauen Engel" für Handys durch das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung RAL gGmbH sind auf der Internetseite www.blauer-engel.de/downloads/vergabegrundlagen.de/UZ-106.pdf zu finden.

Ein Hersteller hatte in 2007 das Umweltzeichen für ein Modell beantragt und erhalten, den Vertrag Ende 2009 allerdings aufgekündigt. Ansonsten lehnen die Handyhersteller das Umweltzeichen ,,Blauer Engel" für Mobilfunkendgeräte geschlossen ab. Das Bundesamt für Strahlenschutz hält eine für den Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung nach wie vor für wünschenswert. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen.

Ende 2006 wurde für weitere Endgeräte, nämlich Säuglingsüberwachungsgeräte (Babyphone), die Vergabegrundlage für den ,,Blauen Engel" veröffentlicht (siehe www.blauer-engel.de/_downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-125.zip). Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des ,,Blauen Engels" ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaf-

ten im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Bis Ende des Jahres 2008 haben zwei Hersteller den ,,Blauen Engel“ erhalten.

Seit Anfang 2009 gibt es darüber hinaus ein Umweltzeichen (RAL-UZ 131) für solche DECT- Schnurlostelefone, die die in den Vergabegrundlagen genannten Kriterien "Anpassung der Sendeleistung", "Reichweitenbegrenzung" sowie "Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb" erfüllen. Obwohl entsprechende Geräte auf dem Markt sind, hat bisher noch kein Hersteller die Umweltzeichenvergabe beantragt.

Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997) sind für ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalent isotroper Strahlungsleistung) oder mehr, die gewerblich betrieben werden und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz (300.000 MHz) erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BnetzA; www.bundesnetzagentur.de) auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) überprüft. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA wurde auch im Jahr 2009 gezeigt, dass die Grenzwerte an den Orten, an denen sich Menschen aufhalten, um Größenordnungen unterschritten werden.

Die Bundesnetzagentur stellt auf Ihren Internetseiten seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung (emf.bundesnetzagentur.de). Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilte, möglich. Darüber hinaus bildet sie eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Die Messorte werden von der Bundesnetzagentur und den Landesumweltministerien festgelegt. Im Rahmen der EMF-Messreihe der Bundesnetzagentur kann jedes Landesumweltministerium eine bestimmte Anzahl von Messorten frei wählen. Die BNetzA übernimmt die Standortauswahl der Länder unverändert und führt die Messung durch. Die Bundesnetzagentur trifft die Auswahl ihrer Messorte nach den folgenden Kriterien:

- Nähe zu ortsfesten Funkanlagen (z. B. Rundfunksender, Betriebsfunkanlagen, Mobilfunkanlagen, etc.),
- öffentliche Wege und Plätze,
- Bereiche von besonderem Interesse (z. B. Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser usw.),
- Messorte an denen bei früheren BNetzA-Messungen eine vergleichsweise hohe Ausschöpfung der Grenzwerte festgestellt wurde (dies trifft insbesondere für Messorte im direkten Umfeld von Rundfunksendern zu).

Der Qualitätsmaßstab für die in der EMF-Datenbank enthaltenen Messungen ist die Messvorschrift der Regulierungsbehörde. Diese Messvorschrift wurde mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Damit steht für den gesamten von Funkanlagen genutzten Frequenzbereich (9 Kilohertz bis 300 Gigahertz) ein einheitlicher und verbindlicher Maßstab für die messtechnische Bewertung der Gesamtimmissionen zur Verfügung. In die EMF-Datenbank der BNetzA können nur Messungen von Dritten aufgenommen werden, wenn sie dem Qualitätsmaßstab entsprechen und von den Umweltministerien der Länder beauftragt und an die BNetzA weitergeleitet wurden.

Mit der EMF-Datenbank ergänzt die BNetzA ihr bisheriges EMF-Monitoring. Sie setzt damit eine Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom September 2001 um, wonach „relevante Immissionen durch elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen seien“.

Strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone

DECT-Telefone halten auf Grund ihrer niedrigen mittleren Sendeleistung von weniger als 20 mW den für den Kopf geltenden SAR-Teilkörpergrenzwert von 2 W/kg ein. Es muss daher nicht, wie bei Mobiltelefonen üblich, der SAR-Wert nach DIN EN 50360 zum Nachweis der Übereinstimmung mit den Grenzwerten ermittelt und von Herstellerseite angegeben werden.

Die Basisstationen der nach dem DECT-Standard arbeitenden Schnurlos-Telefone senden allerdings im Stand-by-Betrieb (kontinuierliches Kontrollsignal zwischen Basisstation und Mobilteil), also auch dann, wenn nicht telefoniert wird. Darüber hinaus wird beim Telefonieren unabhängig vom Abstand zwischen dem Telefon und der Basisstation permanent mit der maximalen Leistung gesendet.

Unter dem Aspekt einer vorsorglichen Reduzierung der Exposition ist zu fordern, dass die Basisstationen im Stand-by-Betrieb automatisch abgeschaltet und die Telefone mit einer bedarfsgerechten Regelung der Sendeleistung ausgestattet werden.

Strahlungsarme DECT-Telefongeräte sollten folgende Kriterien erfüllen:

- Abschaltung oder mindestens 100.000-fache Absenkung des Kontrollsignals im Standby-Betrieb unabhängig von der Anzahl der angemeldeten Mobilteile, wobei sich das Mobilteil nicht notwendigerweise in der Basis befinden muss,
- bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung des Mobilteils beim Telefonieren in mehr als 2 Stufen ähnlich der beim Handy,
- bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung der Basisstation während des Telefonierens,

- Möglichkeit des Anschlusses eines Headsets an das Mobilteil und
- Möglichkeit der Einstellung / Begrenzung der Reichweite.

Mittlerweile sind einige Hersteller diesen Forderungen zumindest teilweise nachgekommen. Seit Anfang 2009 gibt es den „Blauen Engel“ für solche DECT- Schnurlostelefone, die die in den Vergabegrundlagen genannten Kriterien "Anpassung der Sendeleistung", "Reichweitenbegrenzung" sowie "Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb" erfüllen. Obwohl entsprechende Geräte auf dem Markt sind, hat bisher noch kein Hersteller die Umweltzeichenvergabe beantragt.

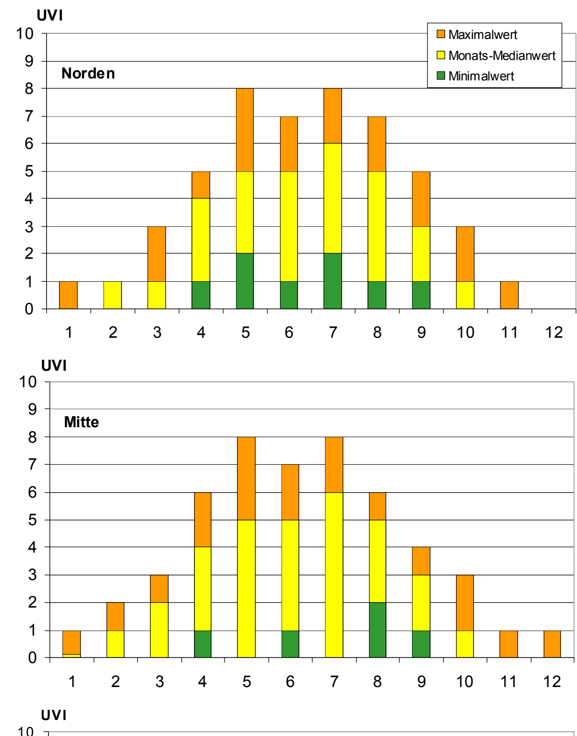
2. Optische Strahlung
(Optical radiation)

2.1 Solares UV-Monitoring
(Solar UV-Monitoring)

An den Messstationen des deutschen UV-Messnetzes (ausführliche Informationen in Teil A - VI - 1.4) wird täglich die UV-Strahlung gemessen.

Der globale solare UV-Index (UVI) ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame Strahlung. Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden vom BfS als UVI im Internet unter www.bfs.de/de/uv/uv_messnetz/uvi veröffentlicht. In Abbildung 1.1-1 sind für das Jahr 2009 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen Dortmund, Lindenberg und Kulmbach) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Die höchsten Werte mit Maximalwerten über 8 traten im Norden und in der Mitte Deutschlands im Mai und Juli sowie im Süden Deutschlands im Mai und Juni auf. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.



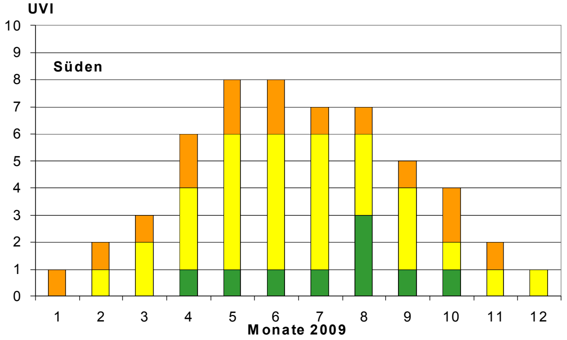


Abbildung 1.1-1 **Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2009**
(Maximum and mean UVI values per month in the year 2009)

2.2 Forschung
(Research)

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung kann zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen an Auge und Haut führen. Geringe Sonnenexposition können sich aber auch gesundheitsfördernd auswirken: durch UV-B-Strahlung wird die Synthese von Vitamin D induziert, welches den Kalziumspiegel im Blut reguliert und eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Auf Grund dieser unterschiedlichen Wirkungsweisen existieren international widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf UV-Bestrahlung. Deswegen wurden im Jahr 2009 Forschungsvorhaben im Bereich UV durchgeführt.

Forschungsvorhaben zum Thema UV

3608S03012	Bestimmung der individuellen solaren UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index
3607S04538	UV-abhängige Vitamin-D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D_3-Bedarfs im menschlichen Körper
3606S04506	Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs

Siehe Programmreport 2009, www.bfs.de/de/bfs/druck/netzpublikationen

2.3 Zertifizierung von Solarienbetrieben
(Certification of solaria)

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs wird mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung gebracht. Deswegen haben sich BMU und BfS auch 2009 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung durch Solarien für die Nutzer zu reduzieren.

Als eine Maßnahme hierzu wurde im Mai 2003 eine freiwillige Zertifizierung für Solarien („Zertifiziertes Solarium“) nach den Kriterien des Runden Tisches Solarien (RTS) etabliert. Die wesentlichen Kriterien für diese Zertifizierung sind:

- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- Prüfungsvorschriften,
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter.

Darüber hinaus verpflichtet sich der Studiobetreiber eines nach diesen Kriterien zertifizierten Solarienbetriebes, Personen unter 18 Jahren die Nutzung seiner Geräte zu untersagen. Neue europäische Vorgaben u. a. hinsichtlich der Bestrahlungsstärke erforderten in 2007 die Anpassung der bisherigen Kriterien. Das Zertifizierungsverfahren ,,Zertifiziertes Solarium“ wurde demzufolge von dem Verfahren ,,Geprüftes Sonnenstudio“ abgelöst.

Bis 31. Juli 2008 waren knapp 800 Sonnenstudios der ca. 5.500 Sonnenstudios deutschlandweit (Anzahl der Betriebe nach Angaben von Vertretern der Solarienbranche) zertifiziert. Am 1. August 2008 wurde eine niedrigere Gesamtbestrahlungsstärke für Solarien in zertifizierten Betrieben von 0,3 W/m^2 eingeführt. Danach ließen sich - außer einem Sonnenstudio - keine weiteren Sonnenstudios mehr zertifizieren.

Das BfS führte 2006, 2007 und 2008 Überprüfungen der als zertifiziert gemeldeten Sonnenstudios durch. Die bereits in den Jahren 2006 und 2007 vorgefundenen Mängel bei der Umsetzung der Kriterien des BfS zeigten sich erneut bei der stichprobenartigen Überprüfung zertifizierter Solarien Ende 2008. Der Bericht hierzu ist veröffentlicht unter www.bfs.de/de/uv/solarien/Solarienueberpruefung2008.pdf. Das Ergebnis machte deutlich, dass das freiwillige Zertifizierungsverfahren keinen effektiven Verbraucherschutz in Sonnenstudios gewährleisten kann.

Um den Verbraucher vor den nachgewiesenen Gesundheitsgefahren durch UV-Strahlung zu schützen, hat das BMU mit Unterstützung des BfS rechtliche Regelungen zu Solarien erarbeitet (gesetzliches Solarienbenutzungsverbot für Minderjährige, Qualitätsanforderungen an den Betrieb von Solarien wie z. B. Begrenzung der Bestrahlungsstärke, Einsatz von qualifiziertem Personal, Informations- und Dokumentationspflichten).

Am 4. August 2009 trat das Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nicht-ionisierender Strahlung (NiSG) in Kraft. Seit 4. August 2009 ist damit Solarienbetreibern verboten, Minderjährigen die Nutzung von Solarien zu erlauben. Die Zuwiderhandlung ist eine Ordnungswidrigkeit und kann seit dem 1. März 2010 mit einem Bußgeld bis zu 50.000 € geahndet werden. Das Gesetz ermächtigt u.a. auch zum Erlass einer Rechtsverordnung bzgl. Solarien. Das BMU hat mit Unterstützung des BfS eine diesbezügliche Rechtsverordnung erarbeitet. Diese befindet sich derzeit im Abstimmungsprozess.

ANHANG

(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Erläuterung zu den verwendeten Begriffen
(Explanation of terms)

1.1 Strahlendosis und ihre Einheiten
(Radiation dose and related units)

Ionisierende Strahlung umfasst Teilchen- und Wellenstrahlung, die auf Grund ihres Energiegehalts beim Auftreffen auf Materie Elektronen aus den Atomhüllen herausschlagen kann und dadurch Ionen erzeugt. Zur quantitativen Beschreibung der Ursache einer Strahlenwirkung benutzt man den Begriff der Dosis. Da man diese Wirkung auf der atomaren, molekularen oder biologischen Ebene beschreiben kann, sind verschiedene Dosisbegriffe eingeführt worden.

Primär werden durch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie Ladungsträger (Ionen) erzeugt. Ein Maß für die erzeugte Ladung pro Masse ist die Ionendosis, die Einheit ist das Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Eine alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

Die auf das Material übertragene Energie pro Masseneinheit wird als Energiedosis bezeichnet. Sie wird in der Einheit Gray (Gy) gemessen. 1 Gray ist die Energiedosis, die bei der Übertragung der Energie von 1 Joule auf eine Masse von 1 kg entsteht (1 Gy = 1 J/kg). Entsprechend ist die Energiedosisleistung eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde (Gy/s) oder Gray pro Stunde (Gy/h) gemessen.

$$1Gy = \frac{1J}{1kg}$$

Molekulare Veränderungen durch Ionisations- und Anregungsprozesse können der Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen sein. Allerdings ist das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis (Strahlungsenergie pro Masseneinheit) abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung (Strahlenqualität).

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z. B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z. B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20-mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Die Dichte der Ionisierung wird mit der Größe „Linearer Energietransfer“ (LET) angegeben. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die Organdosis. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ Energiedosis im Organ T durch die Strahlungsart R

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ Organdosis im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der novellierten Strahlenschutzverordnung entsprechend Tabelle 1.1-1 festgelegt.

Tabelle 1.1-1 Strahlungs-Wichtungsfaktoren wR nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C
(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Strahlenart und Energiebereich	w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 30 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die Einheit der Organdosis ist das Sievert (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Strahlendosen im Sievertbereich treten selten auf, es wird daher üblicherweise die Untereinheit Millisievert verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden verschieden empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die effektive Dosis eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert eins.

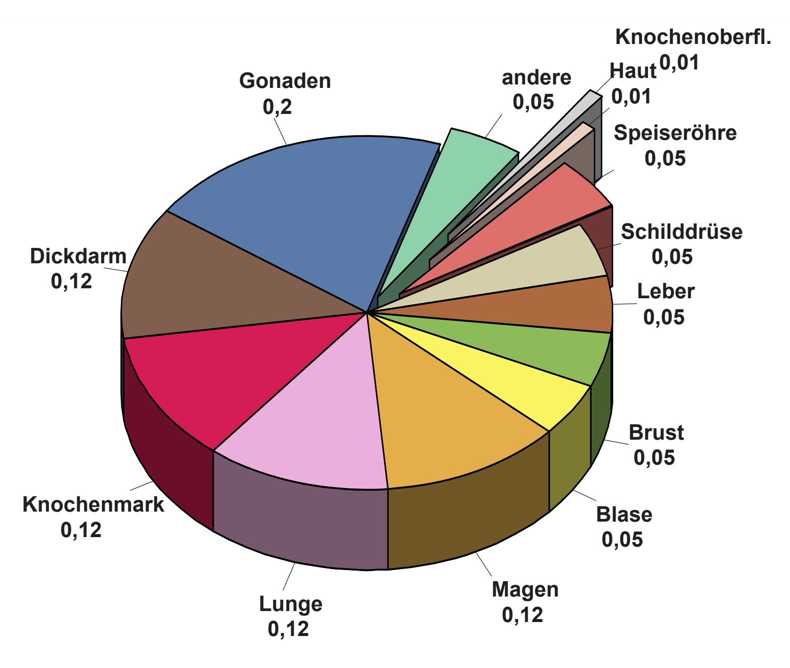


Abbildung 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

1.2 Die Messung der Strahlendosen
(Measurement of radiation dose)

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den Messgrößen überwacht. Diese Äquivalentdosen sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/cm3, Massenzusammensetzung 76,2% Sauerstoff, 11,1% Kohlenstoff, 10,1% Wasserstoff und 2,6% Stickstoff), der sogenannten ICRU-Kugel mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission

on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff Personendosis verwendet. Die Strahlenschutzverordnung definiert als Messgrößen die Personendosis als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z. B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z. B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das Filmdosimeter, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) und die Richtungs-Äquivalentdosis H´(0,07,W). Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die Kollektivdosis verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

1.3 Äußere und innere Bestrahlung[1] *(External and internal radiation exposure)*

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung (Ingestion), dem Trinkwasser oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt oder durch Wunden in den Körper aufgenommen werden. Die Bestrahlung erfolgt dann von innen. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus bzw. in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben physikalischen Eigenschaften der Strahlung und den physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide gehen zahlreiche, u. a. altersabhängige biokinetische Parameter in die Dosisermittlung ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Annahmen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionu-

---

[1] Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff

klids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 µm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30% aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Verminderung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem linearem Energietransfer (LET) liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14-MeV-Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s. o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

1.4 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung[1]
(Stochastic and deterministic radiation effects)

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abb. 1.4-1). Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abb. 1.4-1).

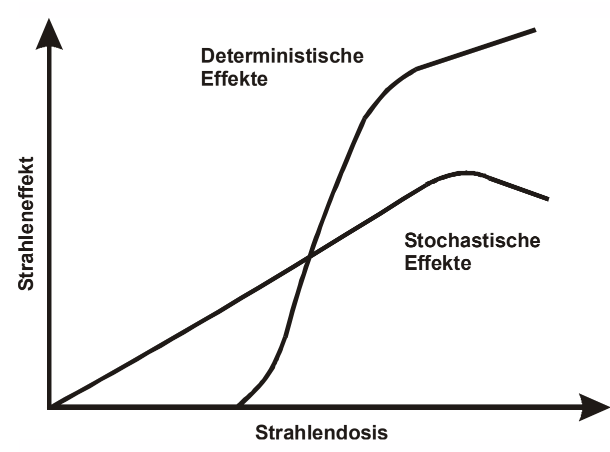


Abbildung 1.4-1
Schematische Darstellung der Dosis- Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte
(Chart of the dose-response-relationships in stochastic and deterministic effects)

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikokoeffizienten ausgedrückt.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen.

1.5 Genetische Strahlenwirkungen
(Genetic radiation effects)

Wirken ionisierende Strahlen auf Keimdrüsen oder Keimzellen, können sie Schäden im Erbgut (Mutationen) verursachen, die zu genetisch bedingten Krankheiten (Erbschäden) führen. Diese können sich bei den Kindern und Kindeskindern der bestrahlten Personen in Form von Fehlbildungen, Stoffwechselstörungen, Immunschäden etc. auswirken, aber auch erst nach vielen Generationen sichtbar werden. Wie Krebserkrankungen sind auch genetisch bedingte Krankheiten keine spezifischen Folgen einer Strahlenexposition, sondern treten mit dem gleichen klinischen Erscheinungsbild auch spontan oder infolge anderer Umwelteinflüsse auf.

Ein Zusammenhang zwischen einer Strahlenexposition und dem Auftreten von genetischen Effekten konnte beim Menschen bisher nicht beobachtet werden. Das größte Kollektiv bestrahlter Eltern stellen die Atombomben-Überlebenden dar. Die Kinder dieser Eltern sind registriert und werden bis heute immer wieder auf genetische Effekte untersucht. Bisher wurde unter den Kindern und Kindeskindern der Atombomben-Überlebenden aber keine statistisch signifikante Erhöhung in der Häufigkeit von Erbkrankheiten gegenüber der unbestrahlten japanischen Bevölkerung beobachtet. Daher ist man bei Risikoabschätzungen darauf angewiesen, die Wirkungen relativ starker Bestrahlungen im Tierexperiment zu untersuchen und von diesen Ergebnissen auf die statistisch bisher nicht erfassbaren Wirkungen niedriger Strahlendosen beim Menschen zu schließen.

Die Internationale Strahlenschutz-Kommission (ICRP) geht davon aus, dass das genetische Risiko für bis zu zwei Generationen nach Bestrahlung der Eltern mit einer einmaligen Gonaden-Dosis von 1 Gy bei 500 Geburten zu einer zusätzlichen schweren Erkrankung führt, die durch eine strahlenbedingte Mutation verursacht wird. Bei chronischer Strahlenbelastung über mehrere Generationen wird davon ausgegangen, dass durch eine Gonaden-Dosis von 1 Gy ein zusätzlicher Fall einer Mutation bei 100 Geburten ausgelöst wird, die die Ursache für eine schwere Erkrankung ist.

Bei den Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos geht man von einer Verdoppelungsdosis in Höhe von 1 Gy im Falle einer chronischen Bestrahlung aus. D. h. eine Dosis von 1 Gy verdoppelt die spontane Mutationshäufigkeit für die Gesamtheit aller klinisch dominanten Mutationen, die bei etwa 2% pro Generation liegt. Für den Fall einer akuten Bestrahlung liegt die Verdopplungsdosis bei 0,3 Gy. Von den röntgendiagnostischen Maßnahmen verursacht die Computer-Tomographie (CT) die höchste Strahlenexposition. Eine CT des Unterleibs bedingt etwa eine Keimdrüsendosis von 35 mSv (Ovarien) bis 40 mSv (Hoden). Dies erhöht das spontane genetische Risiko von etwa 2 bis 3% (für monogenetische und chromosomale Erkrankungen) um 0,07% bei der Frau und 0,08% beim Mann.

1.6 Induktion bösartiger Neubildungen
(Induction of malignant neoplasms)

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d. h. Leukämien und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe,

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ unterscheidet, können diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z.B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit

nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig viele Daten vor.

Es wurde beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, wie das Risiko von der Dosis abhängt, d. h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass sich Letzteres in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro m^3 Raumluft. Dies bedeutet, dass sich das Lungenkrebsrisiko je 1000 Bq pro m^3 Raumluft verdoppelt. Dies gilt sowohl für Raucher als auch für Nichtraucher.

1.7 Risikoabschätzung
(Risk assessment)

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende Strahlung ausgesetzt waren und bei denen Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung häufiger als bei unbestrahlten Personen Leukämien oder Krebserkrankungen auftraten. Zu den bestrahlten Personengruppen gehören die Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki sowie Patientengruppen, die wegen bestimmter Erkrankungen radiologisch oder nuklearmedizinisch untersucht bzw. behandelt wurden, und beruflich strahlenexponierte Personen wie die Uranbergarbeiter oder Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen.

Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischen Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee über die Effekte der atomaren Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und auch der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommen werden. Um das allgemeine Strahlenrisiko abschätzen zu können, müssen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen, die nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, unter der Annahme von Risikomodellen zur Krebsentstehung ausgewertet werden. Dabei sind insbesondere folgende Übertragungen vorzunehmen:.

- Extrapolation der Risiken vom mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z.B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische Expositionen, wie sie z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen,
- Projektion des Risikos von der nur begrenzten, durch die Studie bedingten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der bestrahlten Personen,
- Transfer der Risikoabschätzungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen mit meistens unterschiedlichen natürlichen Krebsraten (z.B. von den japanischen Atombombenüberlebenden auf eine europäische Bevölkerung).

Epidemiologische Studien zeigen, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung bösartiger Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkungen ionisierender Strahlung mehr auftreten würde. Vielmehr zeigt dies nur die methodische Beobachtungsgrenze epidemiologischer Untersuchungen an. Für die Extrapolation von mittleren bis zu niedrigen Dosen ist für die Häufigkeit strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auszugehen. Diese Annahme

wird durch grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse gestützt. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle (bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspur getroffen) zur Krebsauslösung ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

Für einzelne Krebsarten kann die lineare Extrapolation zwar dazu führen, dass das Risiko überschätzt wird (z. B. Osteosarkome nach Inkorporation von Alpha-Strahlern), es lässt jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird, daher stellt unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden muss auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis angenommen werden. Obwohl hierfür keine direkten Beobachtungen beim Menschen vorliegen, wird diese Annahme durch tier- und zellexperimentelle Befunde gestützt.

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und –transfer zu Grunde gelegt werden können: das absolute und das relative Risikomodell (Abb. 1.6-1). Das absolute Risikomodell geht davon aus, dass die Strahlung eine zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodell wird angenommen, dass der Strahlungseffekt darin besteht, dass sich die natürliche Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die natürliche oder spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, lässt sich unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen auch im Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abschätzen. Die Risikoschätzungen nach dem relativen Modell sind daher höher als nach dem absoluten Modell.

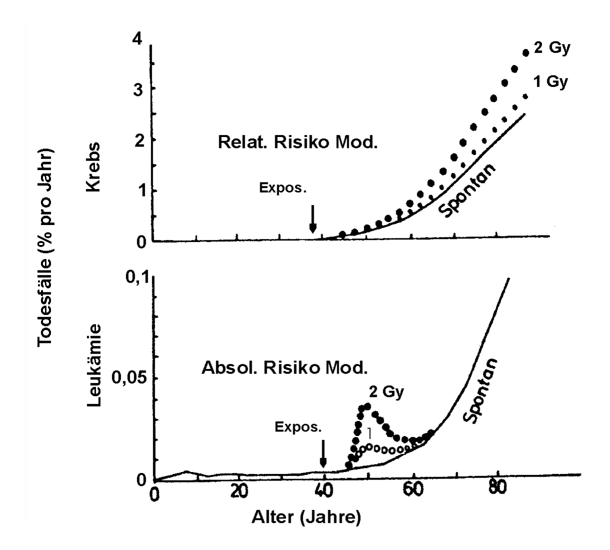


Abbildung 1.6-1
Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie
(Chart of the mortality due to cancer and leukaemia)

Ausgehend von den epidemiologischen Daten für die japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR[1] ein Lebenszeitrisiko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 9% für Männer, 13% für Frauen und einen Mittelwert für beide Geschlechter von 11% bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japanischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisiko deshalb um etwa 1%, bei 10 mSv um 0,1%. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25% aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h. von einer Million Menschen werden etwa 250.000 an einer Krebserkrankung sterben.

1.8 Strahlenschutzmaßnahmen
(Radiation protection measures)

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Minimum reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung [1] „jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden“ und „jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles

---

[1] United Nations, Sources, Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Effects, S. 361

auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“ (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

§ 46 der StrSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

- Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.
- Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
- Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Fortluft oder Abwasser emittierte radioaktive Stoffe sind in § 47, Abs. 1 Strahlenschutzverordnung Dosisgrenzwerte festgelegt:

„Für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Anlagen oder Einrichtungen gelten folgende Grenzwerte der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen jeweils bedingten Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr:

1. Effektive Dosis 0,3 Millisievert
2. Organdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark (rot) 0,3 Millisievert
3. Organdosis für Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre,
   Schilddrüse, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1,
   soweit nicht unter Nr. 2 genannt 0,9 Millisievert
4. Organdosis für Knochenoberfläche, Haut 1,8 Millisievert

Es ist dafür zu sorgen, dass radioaktive Stoffe nicht unkontrolliert in die Umwelt abgeleitet werden.“

Literatur

[1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)

2. Physikalische Einheiten
(Physical units)

Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

Tabelle 2-1 Basiseinheiten
(Basic units)

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampère	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

Tabelle 2-2 **SI-Einheiten in der Radiologie**
(SI units applied in radiology)

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = 3,7 10^{10}Bq * 1 Bq = 2,7 10^{-11}Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd *
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem *
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = 2,58 10^{-4} C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s *
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = 2,58 10^{-4} A/kg * = 0,258 mA/kg *

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle 2-3 **Präfixe**
(Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
Hekto	h	10^{2}
Deka	da	10^{1}

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	µ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Tabelle 2-4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	**V/m** (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	H	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	B	**Vs/m²** (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) $1\ Vs/m^2 = 1\ T$ gebräuchlich: 1 µT Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \bullet H = \mu_0 \bullet \mu_r \bullet H$ [1)] für Luft und organische Materialien gilt: B (µT) = 1,256 • H (A/m) $1\ G = 10^{-4}\ T = 100\ \mu T$
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	**V/m** (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \bullet H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
Magnetische Feldstärke	H	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	**W/m²** (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \bullet H = Z_0 \bullet H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	**W/kg** (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

1) dabei ist µ die Permeabilitätskonstante,
μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und
μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums

3. Glossar
(Glossary)

Absorption Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis

Aerosol Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen

Aktivität (Radioaktivität) Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu

AKR-Mäuse Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen

Alphastrahler Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden

Anthropogen Durch den Menschen beeinflusst, verursacht

Äquivalentdosis Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 µSv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert

Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS) Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten

Athermische Effekte	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt werden
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Bioturbation	Bioturbation ist das Durchwühlen und Durchmischen (Turbation) von Böden oder Sedimenten durch Lebewesen. Sie gehört zu den Translokationsprozessen
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen (s. a. Teletherapie)
Blut-Hirn-Schranke	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet
Bystander-Effekt	Der Begriff „Bystander-Effekt“ beschreibt die Beobachtung, dass nicht nur Zellen, die von Strahlung getroffen werden, also Energiedepositionen erhalten, Schäden aufweisen, sondern dass zusätzlich auch in nicht getroffenen Zellen, in den sog. „bystander cells“ ebenfalls Schäden gefunden werden
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen
Deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch)
Diagnostischer Referenzwert (DRW)	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den Ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht
Dosimetrie	Quantitative Erfassung der Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosimeter	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
Effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor

Elektrisches Feld — Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert

Elektrische Feldstärke — Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)

Elektrische Ladung — Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C)

Elektrostatisches Feld — Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen

Elektrische Spannung — Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)

Elektrischer Strom — Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)

Elektrosensibilität — Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden

Elektrosensitivität — Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z. B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung

Energiedosis — Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy)

Epidemiologie — Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten

Erkennungsgrenze — In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Erkennungsgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), die mit einem Messwert verglichen wird, um zu entscheiden, ob bei dieser Messung ein Beitrag dieser Größe vorliegt oder lediglich Nulleffekt gemessen wurde.
Angaben zur Berechnung der Erkennungsgrenzen können z. B. den Messanleitungen der Leitstellen und der Norm DIN 25482 10 entnommen werden

Fall-Kontroll-Studie — In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen).
Eingebettete Fall-Kontroll-Studie:
Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird

Fall-out — Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist

Fernfeld — Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)

Frequenz — Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)

Gammastrahlung — Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann

Gammasubmersion — Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre

Ganzkörperdosis Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers

Globalstrahlung Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung

Gray SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm

Hall-Sonde Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder

Hochfrequenz Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)

Hot spots Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder

Induktion Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird

Influenz Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten

Infrarotstrahlung Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm - 1 mm

Ingestion Allgemein: Nahrungsaufnahme
Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung

Inhalation Allgemein: Einatmung von Gasen
Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft

Inkorporation Allgemein: Aufnahme in den Körper
Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper

Interventionelle Radiologie Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden

Ionisierende Strahlung Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können

Isotop Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl

Kohortenstudie Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht

Kollektivdosis Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert

Kontamination Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen

Kosmische Strahlung Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum

Linearer Energietransfer (LET) Der Lineare Energietransfer (LET) ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen

Leukämie Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 - 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit

LNT-Hypothese Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT). Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar

Machbarkeitsstudie In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann

Magnetfeld Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert

Magnetische Feldstärke Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)

Magnetische Flussdichte Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden

Magnetische Induktion Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist Tesla (T)

Medianwert Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen

Nachweisgrenze In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Nachweisgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), der mit einem vorgegebenen Richtwert (zum Teil als geforderte Nachweisgrenze bezeichnet) verglichen werden soll, um zu entscheiden, ob ein Messverfahren für einen bestimmten Messzweck geeignet ist

Nahfeldexposition Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)

Nichtionisierende Strahlung Elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können

Nuklearmedizin Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken

Nuklid Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart

Organdosis Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition

Ortsdosis Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort

Ortsdosisleistung Ortsdosis pro Zeitintervall

Personendosis Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm

Perzentil Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95% Perzentil ist der Wert, der von nur 5% der Stichprobe überschritten wird)

Pyranometer Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung

Querschnittsstudie Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben

Radioaktive Stoffe Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden

Radioaktives Gleichgewicht Einige primordiale Isotope des Uran und Thorium zerfallen nicht direkt in stabile Elemente, sondern in Nuklide, die wieder radioaktiv sind. Sie bilden Zerfallsketten. Wenn die Halbwertszeit des Tochterproduktes kürzer ist als die des Mutternuklids, nähert sich dessen Aktivität im Laufe der Zeit an die des Mutternuklids an. Schließlich zerfallen im ungestörten Gestein pro Zeiteinheit genauso viele Atome des Tochernuklids, wie nachgeliefert werden. Die Aktivitäten der beiden Radionuklide befinden sich im radioaktiven Gleichgewicht.

Radioaktivität Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden

Radiojod Radioaktive Jodisotope

Radionuklide Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen

Retina Netzhaut des Auges; hier werden optische Signale in Nervensignale umgewandelt

Risiko Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung

Risikokommunikation — Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)

Risikowahrnehmung — Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen

Sendeleistung — Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung

Si-Einheiten — Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt

Sievert — SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis
1 Sievert (Sv) = 100 Rem,
1 Sievert = 1.000 Millisievert (mSv) = 1.000.000 Mikrosievert (µSv)

Spezifische Absorptionsrate (SAR) — Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung. Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)

Stochastisch — Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)

Strahlenbelastung — Siehe Strahlenexposition

Strahlenexposition — Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper oder Körperteile

Teletherapie — Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s.a. Brachytherapie)

Terrestrische Strahlung — Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind

Tritium — Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet

UVI, UV-Index — Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung
Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung

UV-Strahlung — Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm - 400 nm

Wirbelstrom — Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

4. Liste der verwendeten Abkürzungen *(List of abbreviations)*

A — Ampere
(Ampere)

ÄS — Ärztliche und zahnärztliche Stellen
(positions prescribed for doctors and dentists)

AMG — Arzneimittelgesetz
(Medical Preparations Act)

AtG — Atomgesetz
(Atomic Energy Act)

AVR — Atomversuchsreaktor
(Nuclear test reactor)

AVV — Allgemeine Verwaltungsvorschrift
(General Administrative Provisions)

B — Magnetische Flussdichte
(Magnetic flux density)

BfArM — Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
(Federal Institute for Drugs and Medical Devices)

BfG — Bundesanstalt für Gewässerkunde
(Federal Institute of Hydrology)

BfS	Bundesamt für Strahlenschutz *(Federal Office for Radiation Protection)*
BGBl	Bundesgesetzblatt *(Federal Law Gazette)*
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe *(Federal Institute for Geosciences and Natural Resources)*
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung *(Federal Ministry of Accumulation and Research)*
BMG	Bundesministerium für Gesundheit *(Federal Ministry of Physical Health)*
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschuz und Reaktorsicherheit *(Federal Ministry of Environment, Nature Protection and Reactor Safety)*
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung *(Federal Ministry of Traffic, Building and Urban Development)*
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie *(Federal Ministry of Economy and Technology)*
BNetzA	Bundesnetzagentur *(Federal Network Agency)*
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie *(Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography)*
/d×p	Pro Tag und Person *(Per day and person)*
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm *(German Mobile Telecommunication Research Programme)*
DNS	Desoxyribonukleinsäure *(Deoxyribonucleic acid)*
DRW	Diagnostische Referenzwerte *(Diagnostic reference levels)*
DWD	Deutscher Wetterdienst *(German Meteorological Service)*
DWR	Druckwasserreaktor *(Pressurized Water Reactor)*
E	Elektrische Feldstärke *(Electric field strength)*
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft *(European Atomic Energy Community)*
EUREF	Europäische Referenzorganisation für qualitätsgesichertes Brustscreening und Diagnoseleistungen *European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services*
FFS	Fischereiforschungsschiff *(Fisheries Research Vessel)*
FM	Feuchtmasse *(Wet weight)*
GSM	Globales Mobilfunksystem *(Global System for Mobile Communications)*
FZ	Forschungszentrum *(Research Centre)*
Ga	Gesamt-Alpha-Aktivität *(Total Alpha Activity)*
Gb	Gesamt-Beta-Aktivität *(Total Beta Activity)*
H	Magnetische Feldstärke *(Magnetic field strength)*
hED	Halbstunden-Erythemgewichtete UV-Dosiswerte *(Halfhour-erythema-weighted UV dose values)*
HF	Hochfrequenz, hochfrequente *(High frequency)*
HTR	Hochtemperaturreaktor *(High Temperature Reactor)*
HWZ	Halbwertszeit *(Halflife)*

Hz	Hertz *(Hertz)*
IARC	International Agency for Research on Cancer *(Internationale Agentur für Krebsforschung)*
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung *(International Commission on Non-Ionising Radiation Protection)*
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission *(International Commission on Radiological Protection)*
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem *(Integrated Measuring and Information System)*
IR	Infrarote Strahlung (Wellenlänge 780 nm - 1 mm) *Infrared Radiation (wave length 780 nm - 1 mm)*
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr *(Annual Intake of Activity)*
FZ	Kernforschungsanlage *(Nuclear Research Facility)*
KFZ	Kernforschungszentrum *(Nuclear Research Centre)*
KKW	Kernkraftwerk *(Nuclear Power Plant)*
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage *(Compact Sodium cooled nuclear plant)*
KTA	Kerntechnischer Ausschuss *(Nuclear Safety Standards Commission)*
LET	Linearer Energietransfer *(Linear energy transfer)*
MED	Minimale erythematogene Dosis (Hautrötung) *(Minimal dose for erythema induction)*
MRI	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel *Federal Research Institute of Nutritron and Food*
MRT	Magnetresonanztomographie *(Magnetic Resonance Tomography)*
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor *(Multipurpose researach reactor)*
NIR	Nichtionisierende Strahlung *(Non-ionising radiation)*
NWG	Nachweisgrenze *(Detection limit)*
ODL	Ortsdosisleistung *(Ambient Dose Rate)*
PAS	Public Available Specification
PET	Positronen-Emissions-Tomographie *(Positron Emission Tomography)*
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt *(National Metrology Institute)*
Rb	Rest-Beta-Aktivität *(Residual beta activity)*
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen *(Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities)*
RMP	Routinemessprogramm *(Routine Measuring Program)*
RöV	Röntgenverordnung *(X-ray Ordinance)*
S	Leistungsflussdichte *(Power flux density)*
SAR	Spezifische Absorptionsrate *(Specific absorption rate)*
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor *(Sodium-cooled reactor)*
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie *(Single Photon Emission Computed Tomography)*
SSK	Strahlenschutzkommission *(German Commission on Radiological Protection)*

StrlSchV	Strahlenschutzverordnung *(Radiation Protection Ordinance)*
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz *(Precautionary Radiation Protection Act)*
SWR	Siedewasserreaktor *(Boiling Water Reactor)*
Sv	Sievert *(Sievert)*
T	Tesla *(Tesla)*
TBL	Transportbehälterlager *(Transport Container Repository)*
TM	Trockenmasse *(Dry weight)*
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung *(United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)*
UV	Ultraviolette Strahlung (Wellenlänge 100 - 400 nm) *(Ultraviolet Radiation (wavelength 100 - 400 nm)*
V	Volt *(Volt)*
VO	Verordnung *(Ordinance)*
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz *(Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection)*
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut *(Johann Heinrich von Thünen Institute)*
W	Watt *(Watt)*
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage *(Reprocessing Plant)*
WBA	Wasserbehandlungsanlage *(Water Treatment Plant)*
WHO	Weltgesundheitsorganisation *(World Health Organization)*
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart *(Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor)*
Z0	Feldwellenwiderstand des leeren Raums *(Field characteristic impedance)*
ZdB	Zentralstelle des Bundes *(Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity)*

Tabellenabkürzungen
(Abbreviation in tables)

	Angaben nicht sinnvoll *(data not relevant)*
a	Daten lagen nicht vor *(data not available)*
N	Zahl der Einzelmessungen *(number of individual measurements)*
nn	nicht nachgewiesen / nachweisbar *(not detected / detectable)*
-	Messung / Angabe nicht erforderlich *(measurement / data not required)*
<	[vor Mittelwerten] enthält mindestens einen Messwert < NWG *([preceding mean values] includes at least one value < detection limit)*

5. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl

(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory text and other regulations concerning radiation protection - assortment)

Gesetze

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - **AtG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
2. Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln (Arzneimittelgesetz - **AMG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), zuletzt geändert durch Artikel 9 Abs. 1 des Gesetzes vom 23. November 2007 (BGBl. I S. 2631)
3. Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - **StrVG**) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 1 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrlSchG**) vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I, S. 636)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (**BAusfAmtG**) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Artikel 129 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, (1994, 2439)), zuletzt geändert durch Artikel 302 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
7. Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 12. August 2005 (BGBl. I 2005, S. 2365), eingeflossen in das Atomgesetz (**AtG**)
8. Gesetz über Krebsregister (KRG) vom 4. November 1994 (BGBl. I, S. 3351), gültig bis 31.12.1999, teilweise fortgeltend in entsprechenden Ländergesetzen bzw. Staatsvertrag.
9. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel (**UIG**) vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I 2004, Nr. 73, S. 3704)
10. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages (**EinigVtr**) vom 31. August 1990 (BGBl. II S. 885) in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag (**EinigVtrG**) vom 23. September 1990 (BGBl II, S. 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:

- Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (**VOAS**) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBl DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBl DDR I 1987 Nr. 18)
- Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien (**HaldAO**) vom 17. November 1980 (GBl DDR 1980 Nr. 34, S. 347)

Verordnungen

11. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - **RöV**) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I S. 114) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604)
12. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
13. Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (**GGVSE**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2003 (BGBl. I S. 1913, 2139), zuletzt geändert durch Bekanntmachung vom 24. November 2006 (BGBl. I S. 2683)
14. Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensordnung - **AtVfV**) vom 18. Februar 1977, Neufassung vom 3. Februar 1995 (BGBl. I S. 180), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2819)
15. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - **AtDeckV**) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Artikel 9 Abs. 12 des Gesetzes vom 23. November 2007 (BGBl. I S. 2631)
16. Kostenverordnung zum Atomgesetz (**AtKostV**) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
17. Verordnung über Vorausleistungen für die Einrichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Endlagervorausleistungsverordnung - **EndlagerVLV**) vom 28. April 1982 (BGBl. I S. 562), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 6. Juli 2004 (BGBl. I S. 1476)

18. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung - **LMBestrV**) vom 14. Dezember 2000, (BGBl. I S. 1730), zuletzt geändert durch Artikel 359 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
19. Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel - **AMRadV** - vom 28. Januar 1987 in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Januar 2007 (BGBl. I S. 48).
20. Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldungen von Störfällen und sonstigen Ereignissen (atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - **AtSMV**) vom 14. Oktober 1992 (BGBl. I S. 1766), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)
21. Die Verordnungen zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG§11Abs7V) wurden ersetzt durch Art. 1 Abs. 13 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl I S. 686)
22. 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. **BImSchV** vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)
23. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (**AtAV**) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000).
24. Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (**BEMFV**) vom 20. August 2002 (BGBl 1, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl 1, Seite 1970)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

25. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung (alt): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990 (BAnz. Nr. 64a vom 31. März 1990)
26. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995 (BAnz. Nr. 200a vom 24. Oktober 1995)
27. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBl. 2000, Nr. 25, S. 490)

Richtlinien

28. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBl. 1994, S. 286)
29. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor. Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBl. 1978, S. 418)
30. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetriebsetzung und des Betriebs der Anlage vom 4. August 1981 (GMBl. 1981, S. 363)
31. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBl. 1992, S. 150)
32. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBl. 1996, S. 698)
33. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBl. 2003, S. 227)
34. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBl. 2006, S. 254)
35. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil I: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) vom 28. Juli 1994 (GMBl. 1994, S. 930)
36. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBl. 1995, S. 262)
37. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBl. 1982, S. 592)
38. Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach den §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung - Qualitätssicherungs-Richtlinie (**QS-RL**) - vom 28. April 2004 (GMBl. 2004, S. 731), zuletzt geändert am 14.11.2005 (GMBl. 2006, S. 3)
39. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 2. Februar 2005 (GMBl. 2005, S. 666)
40. Richtline zur Durchführung der RöV für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (**SV-RL**) vom 27. August 2003 (GMBl. S. 783), zuletzt geändert am 14.11.2005 (GMBl. 2006, S. 3)
41. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und fachliche Eignung bei der Erzeugung von Rönt-

genstrahlen im Zusammenhang mit dem Betrieb nicht-medizinischer Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftiger Störstrahler sowie Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik) vom 1. Juli 1991 (NW-Verlag ISBN 3-89429-116-8)

42. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBl. 1981, S. 26)
43. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (BAnz. Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
44. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBl. 2004, S. 350)
45. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBl. 2002, S. 136)

Empfehlungen, Erläuterungen

46. Durchführung der StrlSchV: Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBl. 2004 S. 9)
47. Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK), Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden vom 30. Juni 1994 (BAnz. Nr. 155, S. 8766 vom 18. August 1994
48. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBl. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBl. 1996, S. 247)
49. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBl. 1980, S. 577)
50. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBl. 1981, S. 163)
51. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition vom 10. August 1981 (GMBl. 1981, S. 322)
52. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBl. 1981, S. 511)
53. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBl. 1982, S. 61)
54. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBl. 1983, S. 146)
55. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBl. 1983, S. 176)
56. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBl. 1989, S. 71)
57. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBl. 1989, S. 94)
58. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBl 2/90, S. 137)

Sicherheitsregeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regeln)

59. KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/02): Überwachung der Ableitung gasförmiger und a Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb (BAnz Nr. 55 v. 20. März 2003)
60. KTA-Regel 1504 (Fassung 6/1994): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (BAnz Nr. 238a v. 20. Dezember 1994, berichtigt im BAnz 216a v. 19. November 1996)
61. KTA-Regel 1507 (Fassung 6/98): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (BAnz Nr. 172a vom 15. September 1998)
62. KTA Regel 1508 (Fassung 9/88): Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre (BAnz Nr. 37 a vom 22. Februar 1989)

EU-Verordnungen, Richtlinien

63. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. 1993, L 148 S. 1)
64. Verordnung (EWG) Nr. 737/90 des Rates vom 22. März 1990 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (ABl. 1990, L 82 S 1)
65. Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts - und Verwaltungsvor-

schriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte, zuletzt geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG vom 22. Juli 1993 (L 220 vom 30. August 1993)

66. Richtlinie 2003/4/EG des euopäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates . (ABl. 2003 L 41 S. 26)
67. Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen vom 22. Dezember 2003 (ABl.2003, L 346 S 57)
68. Richtlinie 96/29/EURATOM (Strahlenschutzgrundnormen) des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (ABl. 1996, L 159 S. 1)
69. Richtlinie 97/43/EURATOM (Patientenschutzrichtlinie) des Rates vom 30. Juni 1997 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM (ABl. L 180, S. 22)

6. Liste ausgewählter Radionuklide
(List of selected radionuclides)

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ε, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
9	Fluor	F-18	1,83 h	β^+
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1{,}28 \times 10^9$ a	$\beta^-, \varepsilon, \beta^+, \gamma$
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-, γ
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ε, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ε, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-,γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ε, γ
		Co-58	70,9 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ε, γ
36	Krypton	Kr-85	10,8 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 m	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,18 m	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4{,}8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64,1 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
42	Molybdän	Mo-99	66,0 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	2,1 x 10^5 a	β^-
		Tc-99m	6,0 h	Iγ
44	Ruthenium	Ru-103	39,4 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	ε,
47	Silber	Ag-108m	418 a	ε, γ
		Ag-110m	250 d	β^-, γ, Iγ
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ε
49	Indium	In-111	2,81 d	ε, γ
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	Iγ
53	Jod	I-123	13,2 h	ε, γ
		I-125	59,4 d	ε, γ
		I-129	1,57 x 10^7 a	β^-, γ
		I-131	8,02 d	β^-, γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	Iγ
		Xe-133	5,25 d	β^-, γ
		Xe-133m	2,19 d	Iγ
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^-, γ
		Xe-135m	15,3 m	Iγ, β^-
		Xe-137	3,83 m	β^-, γ
		Xe-138	14,1 m	β^-, γ
55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^-, γ, β^+
		Cs-137	30,2 a	β^-
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^-, γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^-, γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^-, γ
		Ce-144	285 d	β^-, γ
61	Promethium	Pm-147	2,62 a	β^-, γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ε, β^+, β^-, γ
		Eu-154	8,8 a	β^-, ε, γ
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ε, γ
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^-, γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^-, ε, γ
81	Thallium	Tl-201	73,1 h	ε, γ
82	Blei	Pb-210	22,3 a	β^-,γ, α
		Pb-214	26,8 m	β^-, γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 m	β^-, α, γ
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 µs	α
		Po-218	3,05 m	α
86	Radon	Rn-219	3,96 s	α, γ
		Rn-220	55,6 s	α
		Rn-222	3,83 d	α

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α, γ
		Ra-226	1600 a	α, γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium	Th-228	1,91 a	α, γ
		Th-230	$7{,}54 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1{,}41 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^-, γ
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^-, γ
92	Uran	U-233	$1{,}59 \times 10^5$ a	α
		U-234	$2{,}46 \times 10^5$ a	α
		U-235	$7{,}04 \times 10^8$ a	α, γ
		U-238	$4{,}47 \times 10^9$ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β^-, γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	$2{,}41 \times 10^4$ a	α
		Pu-240 *)	6563 a	α
		Pu-241	14,4 a	β^-, α
95	Americium	Am-241	432 a	α, γ
96	Curium	Cm-242	163 d	α
		Cm-244	18,1 a	α

+) entnommen aus:
Magill J, Pfennig G, Galy J: Karlsruher Nuklidkarte. European communities, EUR22276EN, 7. Auflage, 2006

* Pu-(239+240): Historisch gewachsene, zusammenfassende Schreibweise (auch Pu-239/240) der beiden Radionuklide Pu -239 und Pu-240. Die Energien der Alphastrahlung dieser Radionuklide liegen so dicht beisammen, dass mit üblichen Alphaspektrometern meist nur die Summe ihrer Aktivitäten gemessen werden kann.

µs = Mikrosekunden
s = Sekunden
m = Minuten
h = Stunden
d = Tage
a = Jahre

ε = Elektroneneinfang
γ = Gammastrahlung
Iγ = Isomerenzerfall

β^+ = Positronen
β^- = Elektronen
α = Helium-Kerne